

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS AGRICOLAS**



**INFLUENCIA DE LA SUPLEMENTACIÓN DE IONOFOROS EN EL  
DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN CORRAL DE ENGORDA Y METABOLISMO  
DIGESTIVO EN BECERROS**

**TESIS**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA**

**M.C. Jesús Armando Valdéz Albarrán**

**Director de tesis**

**Dr. Martin Francisco Montaña Gómez**

**Co-Director de Tesis**

**Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez**

**Asesores**

**Dr. Víctor Manuel González Vizcarra**

**Dr. José Fernando Calderón y Cortés**

**Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora**

**MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

**JUNIO DE 2013**

**INFLUENCIA DE LA SUPLEMENTACIÓN DE IONOFOROS EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN CORRAL DE ENGORDA Y METABOLISMO DIGESTIVO EN BECERROS.** Tesis presentada por Jesús Armando Valdéz Albarrán como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

---

**Dr. Martín Francisco Montaña Gómez**  
**Director Principal**

---

**Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez**  
**Co-Director**

---

**Dr. Víctor Manuel González Vizcarra**  
**Asesor**

---

**Dr. José Fernando Calderón y Cortés**  
**Asesor**

---

**Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora**  
**Asesor**

**Mexicali, Baja California**

**Junio de 2013**

## INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	v
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN: .....	v
INTRODUCCIÓN .....	9
REVISION DE LITERATURA.....	12
Descripción .....	12
Aplicaciones de los Ionóforos .....	14
Mecanismo de Acción.....	16
Efectos principales Sobre el Metabolismo Digestivo .....	17
Efecto sobre Ácidos Grasos Volátiles (AGV).....	17
Efecto sobre Metano.....	19
Efecto sobre Digestión de Componentes Nitrogenados .....	21
Efecto sobre Digestión de Lípidos y Grasas.....	21
Efecto sobre ganancia Diaria de Peso (GDP) y Conversión Alimenticia .....	22
Efecto sobre Características de la Canal.....	24
MATERIALES Y METODOS .....	26
Unidad experimental.....	28
Dietas .....	28
Instalaciones y muestreo .....	29
Análisis de laboratorio .....	31
Diseño y análisis.....	32
Tabla 2. Efecto de la suplementación laidlomocina en características de la digestión.....	34
Tabla 3. Efecto de la suplementación de laidlomocina en características de la canal de novillos en corral de engorda.....	35
Tabla 4. Efecto de la suplementación de laidlomocina en pH ruminal, y perfiles de Ácidos grasos volátiles .....	36
Cuadro 5. Efecto de la suplementación de laidlomocina en el crecimiento de novillos y el valor neto de energía de la dieta.....	37
RESULTADOS Y DISCUSION .....	39
CONCLUSIONES.....	42
LITERATURA CITADA.....	43

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesor, Dr Martin Montaña, que me ha brindado todo su apoyo, compartido su conocimiento y consejo, durante mi estancia por UABC, primero en la Maestría y ahora culminando este proyecto de Doctorado juntos. Muchas gracias por darme ese voto de confianza cuando me invito a seguir trabajando en su equipo.

Dra Noemi Torrentera, siempre llevare conmigo el consejo que me dio cuando entre al programa, gracias por esa carta de recomendación, hoy puede darse por servida y que el compromiso que hizo con mi padre, se ha cumplido. Gracias, muchas gracias.

A mi asesora y ahora amiga, Dra. Maritza Manriquez, trabajando siempre en equipo durante todo este tiempo, por su excelente disposición, apoyo, y consejos siempre en pos de mejorar. Muchas gracias.

A mi asesor Dr. Víctor Vizcarra, por su apoyo durante este proyecto de doctorado, por compartir su conocimiento y brindarme su amistad, muchas gracias.

Al Dr. Fernando Calderón y al Dr. Enrique Álvarez, maestros que contribuyeron enormemente en mi formación de Posgrado. Muchas gracias.

A la Universidad Autónoma de Baja California, el Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, el Instituto de Ciencias Agrícolas, el Desert Research Extension Center, UC Davis CA. USA, el CONACYT; instituciones a las cuales ningún agradecimiento será suficiente, siempre estaré eternamente agradecido. GRACIAS.

## DEDICATORIA

A Dios Padre por ponerme siempre en el lugar indicado, después de ti, estas solo TÚ.

Dedico este logro a mis Padres, y a mis hermanos, este es mi ejemplo de hermano mayor.

A mi viejita hermosa, que sigues guiando mis pasos desde el cielo, te siento aquí conmigo.

*Un hombre sólo tiene derecho a mirar a otro hacia abajo, cuando ha de ayudarlo a levantarse.*

SSM

## **RESUMEN:**

Se condujeron 2 experimentos con la finalidad de evaluar el efecto de la suplementación de ionóforos sobre el valor nutricional de dietas altas en grano para novillos en finalización. En el experimento 1, doscientos novillos Holstein (117 kg PV) fueron utilizados en una prueba de crecimiento-engorda de 335-d con la finalidad de evaluar los efectos del tratamiento sobre el comportamiento productivo en corral de engorda. Cuatro tratamientos fueron comparados en la dieta: 1) control (no ionóforo); 2) monensina (36.7 mg/kg, base MS); 3) Laidlomocina (12.2 mg/kg base MS); 4) Deccox 6 (260 g Deccox/ton corta) los primeros 56 días seguidos por laidlomocina en dosis igual a la considerada en el tratamiento 3. La GDP fue mejorada 4% con el uso de ionoforos ( $p=.04$ ). Durante la duración del experimento, se observó un consumo menor de MS para el grupo control, sin embargo no hubo diferencia significativa entre tratamientos. Los tratamientos utilizados no tuvieron la capacidad para modificar el desempeño de las variables tomadas en rastro y no afectaron las características de la canal, ni al comparar el grupo control vs los tratamientos con ionoforos. En el experimento 2, cuatro novillos Holstein ( $390 \pm 5$  kg PV) habilitados con cánulas en rumen y duodeno proximal fueron utilizados en una prueba de diseño de Cuadrado Latino 4 x 4 con la finalidad de evaluar el efecto de los tratamientos sobre parámetros de digestión. Los tratamientos consistieron en dietas de finalización en base de maíz hojueleado, sin ionóforo (TMT1-Control), 1.44 g/d Monensina (TMT2), 0.70 g/d laidlomocina (TMT3), 2.28 g/d Deccox (TMT4). La digestión ruminal de MO fue afectada por la combinación de decc-laid, disminuyéndose la digestión rumial un 14% con

respecto al grupo control. El nitrógeno de la dieta disminuyó un 10% para el tratamiento conteniendo monensina con respecto al grupo control, y un 11% con respecto al grupo que conteniendo laidlomocina ( $P < .01$ ). La digestión ruminal del almidón no fue afectada por los tratamientos. El pH ruminal se mantuvo similar entre tratamientos, notándose una ligera disminución para el tratamiento conteniendo Monensina ( $p = .02$ ). Se observó un aumento de 30% en la proporción de propionato para el tratamiento conteniendo monensina, en comparación con el tratamiento de laidlomocina ( $P < .05$ ).

**ABSTRACT:** Two trials were conducted to evaluate the effect of ionophores on growth performance and digestive function on nutritional value of high concentrate diets for finishing cattle, Two hundred Holstein steer calves (117 kg) were used to evaluate treatment effects on growth performance. Steers were balanced by weight and assigned within weight groupings to 40 pens (5 steers/pen). Treatments were (DM basis) 1) control (no ionophore); 2) monensin (36.7 mg/kg, base MS); 3) Laidlomycin (12.2 mg/kg base MS); 4) Deccox 6 (260 g Deccox/short ton) the first 56 days followed by dose laidlomycin equal to the considered for treatment 3. For calculating steer performance, live weights will be reduced 4% to account for digestive tract fill. Final weight will be adjusted for carcass weight by dividing carcass weights by the average dressing percentage. The trial will be analyzed as a randomized complete block design experiment. Where there is a significant ( $P < 0.05$ ) treatment effect, means will be tested using LSD (Hicks, 1973). ADG was improved 4% with the use of ionophores ( $p = .04$ ). For the duration of the trial, we observed a lower intake of MS for the control group, however no significant difference between treatments. The treatments did not affect the performance of the variables taken on trail and did not affect carcass characteristics, and to compare the control group vs. ionophore treatments. In trial 2, 4 Holstein steers ( $390 \pm 5$  kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used in a  $4 \times 4$  Latin square design to evaluate treatment effects on digestion. Ruminal digestion of OM was affected by the combination of decc-laid, ruminal digestion decreased by 14% compared to the control group. The dietary nitrogen decreased by 10% for containing monensin

treatment compared to the control group, and 11% over laidlomycin group ( $P < .01$ ). Ruminal starch digestion was not affected by treatments. The ruminal pH was similar between treatments, was noted a slight decrease for containing monensin treatment ( $p = .02$ ). was noted a 30% increase in the proportion of propionate in treatment containing monensin, compared with treatment laidlomycin ( $P < .05$ ).

## INTRODUCCIÓN

Los ionóforos fueron utilizados por primera vez en el ganado de engorda y muchos están etiquetados para uso en el ganado en pastoreo. Animales jóvenes en crecimiento, novillas y novillos en pastoreo sin altos niveles de suplementación han tenido a menudo un pobre desempeño en cuanto a crecimiento y ganancia diaria de peso (GDP) se refiere. Los ionóforos han demostrado mejorar la eficacia de las dietas para ganado cuando su contenido de proteína cruda es inferior al 10.5%; incluso más que en ganado alimentado con dietas con un contenido de 12.5% o más de proteína cruda (Bohnert et al., 2000). Al mismo tiempo, una reducción en el consumo de materia seca (CMS) se ha observado en vacas durante el último tercio de la gestación en respuesta a la inclusión de ionóforos en la dieta (Spratt et al., 1988).

Los ionóforos comercialmente disponibles incluyen: monensina (Rumensin®), lasalocida (Bovatec®) y propionato de laidlomocina (Cattlyst®). Estos compuestos son clasificados como antibióticos poliéter carboxílicos, los cuales interrumpen el gradiente de concentración de iones ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) a través de los microorganismos, que les lleva a entrar en un ciclo de iones inútil. La interrupción de la concentración de iones evita que el microorganismo mantenga el metabolismo normal y que gaste energía adicional. La función de los ionóforos mediante selección es afectar negativamente el metabolismo de bacterias gram-positivas y protozoos en el rumen. Las bacterias afectadas son aquellas relacionadas con la disminución de la eficiencia fisiológica y digestiva

del rumen, especialmente sobre la utilización de la energía del alimento a nivel ruminal. Este aumento de la eficiencia fisiológica es obtenido mediante factores tales como una menor generación de productos de desecho, por ejemplo el metano (Guan et al., 2006). Al mismo tiempo, al disminuir la degradación ruminal de proteínas, da como resultado una disminución de los niveles de producción de amoníaco en rumen. Los cambios tanto en la población de bacterias ruminales como en el metabolismo energético y de los componentes nitrogenados permite a la vez un aumento del número de bacterias benéficas, lo cual da como resultado una mayor cantidad de ácido propiónico, al tiempo que disminuye la producción de ácido acético y ácido láctico. Por lo tanto, el ganado experimenta un aumento en el estado general de energía y el uso del alimento de manera más eficiente. Es conocido que la resistencia a los antibióticos es una preocupación creciente por la población, por lo que es importante mencionar que aunque los ionóforos se clasifican como antibióticos, no son antibióticos terapéuticos. Los ionóforos son utilizados con la finalidad de poder lograr la manipulación de la fermentación ruminal a través de la membrana celular de organismos procariotes y eucariotes (Russell y Strobel, 1989). También se definen como compuestos antibióticos con estructura lineal con varios grupos funcionales de oxígeno, grupos carboxilo, hidroxilo y amino. Los ionóforos y los iones que transportan se unen por enlaces  $H^+$  a través de la interacción dipolo y fuerzas de Van der Waals (Elsasser, 1984). Al seleccionar comunidades de bacterias ruminales que producen proporcionalmente más ácido propiónico que otro ácido graso volátil se logra una mayor producción de ácido graso propiónico, con lo cual se recupera energía utilizable por el animal

al reducir la formación de gases de desecho, ya que para su síntesis se utilizan más cofactores reducidos que los otros ácidos grasos volátiles.

El supuesto aumento de bacterias resistentes a antibióticos como resultado del uso de ionóforo no está bien soportado por razones tales como: 1) Los ionóforos nunca han sido (ni es probable que sean) utilizados como agentes antimicrobianos para los seres humanos; 2) Poseen un modo muy diferente de la acción de los antibióticos terapéuticos; 3) La resistencia del ionóforo por parte de las bacterias parece ser una adaptación en lugar de una mutación o la adquisición de genes extraños (Russell y Houlihan 2003); 4) Pueden trasladarse a través de las membranas celulares de animales, lo que limita su uso como antibióticos terapéuticos, y 5) la resistencia del ionóforo en bacterias específicas muestra complejidad y un alto grado de especificidad (Callaway et al., 2003).

## REVISION DE LITERATURA

### Descripción

Los ionóforos son clasificados como antibióticos de poliéter carboxílicos. Estos compuestos pueden mejorar la eficiencia de producción en rumiantes (Bergen and Bates, 1984).

Laidlomocina: es un ionóforo poliéter producido por una cepa de *Streptovelicillium eurocidicum*. La actividad antimicrobiana de laidlomocina es similar a la de otros ionóforos (Kitame et al., 1974), y al igual que varios otros ionóforos, laidlomocina aumenta la producción de ácido propiónico en el fluido ruminal (Spires y Algeo, 1983). Es eficaz en concentraciones mucho más bajas en la dieta que monensina o lasalocida (6 to 12 mg/kg vs 30 mg/kg).

Monensina: Es un compuesto biológicamente activo (Haney y Hoehn, 1967) producido por *Streptomyces cinnamonensis*, por el cual cambia la fermentación del rumen y la eficiencia alimenticia de ruminantes (Owens, 1980). La eficacia máxima ha sido relatada con monensina alimentado en 30 gramos/tonelada (33 ppm) en base a materia seca (Brown et al., 1974; Raun et al., 1974). Los porcentajes molares aumentados del ácido propiónico han sido relatados por muchos investigadores (Potter et al., 1974; Richardson et al., 1974; Dinius et al., 1976; Perry et al., 1976; Utley et al., 1976). Además de facilitar el intercambio  $H^+$  y  $Na^+$  a través de las membranas celulares, también facilita el intercambio de  $K^+$  e  $H^+$  y el flujo de iones, lo cual ocasiona la salida considerable de  $K^+$ , acumulación de  $H^+$  y disminución de pH.

Lasalocida: Lasalocida tiene alta afinidad por  $K^+$ , por lo que la difusión del intercambio  $K^+$ /protón parece ser su efecto principal en la célula (Russell y Strobel, 1989). Este ionóforo, al igual que monensina, modifica el potencial electroquímico de la membrana celular, aunque su eficacia depende de las concentraciones de  $K^+$ . Altas concentraciones extracelulares de  $K^+$  disminuyen la actividad de la lasalocida en el transporte de protones (Russell, 1987; Schwingel *et al.*, 1989).

Se ha encontrado que monensina y lasalocida tienen efectos importantes y consistentes sobre los niveles de producción de metano. Monensina afecta a las bacterias que producen  $H^+$  y  $CO_2$ , los cuales son requeridos para la metanogénesis (Chen y Wolin, 1979). La interacción entre especies productoras y utilizadoras de  $H^+$  regula considerablemente la concentración de  $H^+$ . El  $H^+$  es utilizado por las especies metanogénicas para reducir el  $CO_2$  a metano, con lo cual se evita su acumulación en el rumen. La eliminación eficaz de  $H^+$  por estas bacterias estimula a otras especies de bacterias a producir más  $H^+$ , y se altera así su metabolismo hacia vías con mayores rendimientos de energía (Yokoyama y Jhonson, 1988).

Monensina y lasalocida tienen efectos similares en el flujo de iones, pero su efectividad puede diferir. Algunos estudios demuestran que monensina es más potente que lasalocida, lo cual parece estar asociado a las características de cada ionóforo. Lasalocida es más lipolítica que monensina, lo que ocasiona que penetre menos ionóforo a través de la membrana celular de la bacteria. A la

vez, concentraciones bajas de monensina se han encontrado mucho más efectivas contra *Fibrobacter succinogenes* que la lasalocida (Chow y Russell, 1992). Es conocido que el pH es uno de los factores más importantes que influyen notablemente en el establecimiento y crecimiento poblacional de los microorganismos ruminales. Lasalocida y monensina tienen un efecto indirecto en el pH ruminal al inhibir el crecimiento poblacional de bacterias Gram positivas productoras de lactato (Dennis et al., 1981).

### **Aplicaciones de los Ionóforos**

Los ionóforos pueden ser empleados en la alimentación del ganado en un número de maneras diferentes. Con más frecuencia, los ionóforos están incluidos en cualquiera de los suplementos fabricados secos o líquidos, permitiendo formulaciones específicas de las concentraciones de ionóforo y la opción de controlar el consumo del suplemento Owens et al. (1998). Los ionóforos también pueden incluirse en las mezclas minerales y pueden ser utilizados para limitar el consumo. Esto es particularmente cierto cuando la monensina es suplementada, debido principalmente a sus características de palatabilidad (Goodrich et al., 1984). Los ionóforos no tienen tiempo de retiro en relación con la venta o sacrificio de ganado. Esto significa que el ganado puede consumir alimentos que contienen ionóforos hasta el día de la venta o sacrificio.

Los ionóforos son utilizados en una amplia variedad de escenarios en la producción de ganado. Animales en crecimiento consumen la mayor parte de los ionóforos, sin

embargo, las vacas maduras también pueden beneficiarse del consumo de los ionóforos.

El propionato es comúnmente el AGV más deseable en el rumiante de engorda, ya que es el más eficiente como fuente para la obtención de glucosa. Acorde Russell y Strobel (1989), tiene la mayor capacidad de utilizar la energía del alimento para fines productivos. Es importante considerar que los ionóforos disminuyen la desaminación de la proteína en el rumen (Morris et al., 1990), lo cual aumenta la eficacia de la proteína de sobrepaso, en un rango del del 22% al 55% en varios experimentos (Bergen y Bates, 1984). Esta proteína de sobrepaso es la proteína que no se degrada en el rumen, teniendo la oportunidad de ser digerida a nivel de abomaso e intestino delgado. El efecto básico de ionóforos es el de alterar el flujo de cationes a través de las membranas celulares (Kirk et al., 1989). Esto conduce a una reducción en las bacterias gram-positivas (Oheme y Pickrell, 1999), las cuales son reconocidas como uno de los principales causantes del timpanismo asociado con el consumo de dietas con elevadas cantidades de carbohidratos altamente digestibles. Los ionóforos ayudan a atenuar estos problemas digestivos (Hutjens, 1991) además, son capaces de mejorar la conversión alimenticia, y permitir que el animal obtenga más energía metabolizable de la dieta. Acorde con Bergen y Bates (1984), incrementos de hasta 20% de energía metabolizable se han observado en respuesta a la suplementación de ionóforos. Así mismo, incrementos sobre la ganancia de peso de hasta un 17% en algunos estudios, y sobre la conversión alimenticia hasta un 20% (Potter et al., 1976).

## Mecanismo de Acción

El efecto básico de los ionóforos es el de alterar el flujo de cationes a través de las membranas celulares (Kirk et al., 1985). Esto conduce a una reducción en las bacterias gram positivas (Oheme y Pickrell, 1999). El aumento en las poblaciones de bacterias gram-positivas a nivel ruminal es conocido como una de las principales causas de timpanismo y otros problemas digestivos asociados con el consumo de dietas con elevado contenido de carbohidratos altamente digestibles. Acorde con Hutjens, (1992), la suplementación de ionóforos puede disminuir significativamente la presentación de estas alteraciones en tracto digestivo. Propionato de laidlomocina es más eficaz en concentraciones mucho más bajas en la dieta comparada con monensina o lasalocida. Propionato de laidlomocina inhibe los bacilos Gram positivo ruminales, especialmente *Streptococcus bovis* de una manera similar a la monensina, pero propionato de laidlomocina puede ser menos potente que la monensina (Wampler et al., 1998). El potencial para mejorar de eficiencia de la alimentación en ganado de engorda como resultado de la suplementación de ionóforos está bien documentada (Goodrich et al, 1984; Zinn, 1987; Stock et al, 1990). Sin embargo, la magnitud de la respuesta ha sido variable, que van desde cero (Zinn, 1988; Stock et al, 1990; Zinn y Borquez, 1993) a una respuesta mayor de hasta 18% (Bartley et al., 1979). Las bases para explicar la variación en las respuestas no son claras. Los principales factores que han sido implicados incluyen la concentración de catión en la dieta (Rumpler et al, 1986; Zinn et al, 1996), la adaptación microbiana

(Morris et al, 1990.), la densidad energética de la dieta (Goodrich et al., 1984; Zinn, 1986), y el nivel de proteínas en la dieta y la fuente de donde provienen (Gill et al., 1977;Thompson y Riley, 1980;Goodrich et al., 1984;Lana et al., 1997).

### **Efectos principales Sobre el Metabolismo Digestivo**

Los ionóforos modifican indirectamente el ambiente ruminal, como resultado de los cambios en el ecosistema del rumen. Según Bergen y Bates (1984), los ionóforos causan efectos biológicos en los rumiantes mejorando la proporción acetato-propionato e incrementan la síntesis de propionato a partir de lactato, además de disminuir la desaminación y degradación de proteínas en el rumen, reducen la generación de metano, como resultado de la menor disponibilidad y transferencia de H<sup>+</sup> entre bacterias y en condiciones de acidosis disminuyen la producción de ácido láctico, deprimen el crecimiento de bacterias Gram negativas productoras de succinato e inhiben el recambio del contenido ruminal a su vez que provocan una ligera inhibición de protozoarios y reducen la viscosidad del fluido ruminal en animales timpanizados.

### **Efecto sobre Ácidos Grasos Volátiles (AGV)**

Los ionóforos poseen la capacidad de poder aumentar la proporción de propionato y disminuir la producción de acetato (Bergen y Bates, 1984). El propionato es comúnmente conocido como el ácido graso volátil (AGV) con mayor capacidad para transformarse en glucosa. El propionato tiene una

habilidad muy alta para utilizar la energía del alimento para propósitos productivos (Russell y Strobel, 1989). En una prueba de comportamiento productivo realizado por Perry et al. (1976), en la cual se utilizó monensina a razón de 33ppm se observó un aumento del 76% en la producción de propionato, una disminución de 16% la producción de acetato y una disminución del 14% en la producción de butirato. Es bien conocida la importancia de los AGV como fuente de energía para los rumiantes. Acorde con Schelling (1984), el efecto de los ionóforos en la proporción de AGV se debe en parte a un proceso de selección biológica de bacterias resistentes que metabolizan más propionato y succinato, al tiempo que producen menos acetato, butirato y metano. Estos cambios se han corroborado en varios experimentos en rumiantes alimentados con dietas altas en granos (Funk et al., 1986) y forraje, Zinn et al. (1994). Bohnert et al. (2000), observaron una reducción de acetato e incremento de propionato en respuesta a la suplementación de propionato de laidlomocina. Por su parte Bergen y Bates (1984), señalaron que en rumiantes alimentados con alta proporción de carbohidratos rápidamente fermentables, los ionóforos deprimen el consumo de alimento, pero no modifican la ganancia de peso, lo cual implica una mejor conversión alimenticia. Además, que cuando los rumiantes reciben dietas con elevada cantidad de forrajes, los ionóforos no deprimen el consumo y mejoran la ganancia de peso. Estos autores afirman que los ionóforos mejoran la eficiencia productiva de bovinos en finalización, debido a que inducen un metabolismo energético y nitrogenado más eficiente, al tiempo que disminuyen

los desórdenes metabólicos, especialmente la acidosis láctica crónica y el timpanismo.

### **Efecto sobre Metano**

Los ionoforos mejoran y aumentan la eficiencia nutrimental de las dietas de maneras diferentes. Es conocido que en ganado de engorda, las perdidas por metano puede representar hasta un 12% de pérdida de la energía total contenida en la dieta (Russell y Strobel, 1989). Acorde con estos mismos autores, la inclusión de ionóforos puede disminuir esta pérdida hasta en un 30%.

Mientras que en estudios realizados por Sauer et al. (1998) y Domescik y Martin (1999) en vacas lecheras, se observó que monensina redujo la producción de metano, O'Kelly y Spires (1992) no observaron efectos de este ionóforo sobre la producción de metano en rumiantes alimentados *ad libitum*, pero sí en aquellos con consumo restringido. En estudios *in vitro*, monensina disminuyó la producción de metano cuando el sustrato se conformó con 50% de forraje y 50% de concentrado, pero no con 100% de forraje ni con 10% de forraje y 90% de concentrado (Garcia-Lopez et al., 1996). Es lógico suponer que las diferencias entre resultados de varias investigaciones reflejen las diferencias en variables tales como nivel y tipo de alimentación, así como cantidad de ionóforos utilizada. De cualquier forma, la menor producción de metano, por efecto de los ionóforos, se traduce en una mayor eficiencia energética para el rumiante.

El efecto de los ionóforos proporciona una ventaja competitiva para ciertos microorganismos a expensas de los demás. El metabolismo energético se ha mejorado a través de aumento de la producción de propionato de entre los ácidos grasos volátiles con una reducción en la producción de metano. Hasta la fecha se considera que las acciones biológicas de los ionóforos en el rumiante se limitan al tracto gastrointestinal. La fermentación anaeróbica en el rumen produce energía a través de la oxidación de sustratos por la transferencia de electrones (e hidrógeno) a receptores distintos del oxígeno. Los compuestos reducidos formados son principalmente AGV y metano. El balance fermentativo requiere un aumento en la producción de propionato que debe ir acompañado por una disminución en la producción de metano. Al mismo tiempo, numerosos estudios han demostrado que la adición de ionóforos a cultivos mixtos de microbios del rumen *in vitro* aumenta la producción de ácido propiónico y reduce la producción de metano (Wolin, 1960; Hungate, 1966; Demeyer y Van Nevel, 1975; Chalupa, 1977).

Los ionóforos inhiben la metanogénesis mediante la reducción de la disponibilidad de hidrógeno. Las bacterias que producen estos sustratos son sensibles a ionóforos (Chen y Wolin, 1979). El efecto de los ionóforos en la proporción de AGV se debe en parte a un proceso de selección biológica de bacterias resistentes que metabolizan más propionato y succinato, y menos acetato, butirato, formato y metano (Schelling, 1984; Cobos, 1996); estos cambios se han corroborado en varios experimentos en rumiantes alimentados con dietas altas en granos (Funk *et al.*, 1986) y forraje (Patiño *et al.*, 1991; Zinn

*et al.*, 1994). Del mismo modo, se ha observado que los hongos que habitan el rumen y producen hidrógeno, son sensibles a monensina *in vitro* (Marounek y Hodrova, 1989).

### **Efecto sobre Digestión de Componentes Nitrogenados**

Los ionóforos poseen la capacidad de disminuir la desaminación de la proteína a nivel ruminal (Morris *et al.*, 1990). Esta capacidad da como resultado un aumento en la eficacia de la proteína de sobrepaso en el rumiante. Se ha demostrado un incremento de 22% a 55% de la proteína de sobrepaso en varios experimentos (Bergen y Bates, 1984). La proteína de sobrepaso es la proteína que no se descompone en el rumen, realizándose su digestión a nivel de intestino delgado. Dinius *et al.* (1976), proporcionaron la primera evidencia de que el ionóforo monensina podría afectar el metabolismo de N en los rumiantes, mediante la disminución de la concentración ruminal de NH<sub>3</sub>-N en novillos.

### **Efecto sobre Digestión de Lípidos y Grasas**

Los ionóforos son capaces de mejorar las conversiones alimenticias y permitir al animal obtener más energía metabolizable del alimento. En un experimento realizado (Bergen y Bates, 1984), se observó un incremento del 20% de energía metabolizable disponible en respuesta a la suplementación de ionóforos en la ración. Por su parte, Clary *et al.* (1993), reportaron que el uso de ionóforos en la ración en combinación con la suplementación de grasas

aumentó el flujo de lípidos hacia el intestino delgado, lo cual puede conducir a una mejor utilización del potencial de las grasas en la dieta de los rumiantes.

### **Efecto sobre ganancia Diaria de Peso (GDP) y Conversión Alimenticia**

En respuesta a la suplementación de ionóforos en dietas de engorda para bovinos se han documentado mejoras en la GDP hasta un 17% en algunos estudios, al tiempo que la conversión alimenticia (CA) mejoró hasta 20% (Potter et al., 1976). Un amplio estudio realizado con más de 1000 cabezas mostró no sólo el aumento de la ganancia total y la CA; también la GDP se incrementó en un 12.3% (Dicostanzo et al., 1999). Las investigaciones han demostrado que no existen efectos secundarios negativos con el uso adecuado de los ionóforos. El conocer el modo de acción de los ionóforos ayuda a conseguir mejoras en el desempeño productivo y la ganancia es sólo parte de la ecuación en la producción ganadera. El otro lado de la ecuación es la efectividad del costo del aumento en el rendimiento de la utilización ionóforo. En la misma forma, Zinn y Spires (1987), observaron que laidlomocina aumentó la GDP (11%) en novillos consumiendo dietas concentradas, sin afectar el consumo de materia seca. Sobre esto mismo, Spires et al. (1990), indicaron que laidlomocina en concentraciones dietéticas de entre 6 y 12 mg/kg de MS mejora tanto GDP y CA. Por su parte, Bergen y Bates (1984), señalaron que en rumiantes alimentados con alta proporción de carbohidratos rápidamente fermentables, los ionóforos deprimen el consumo de alimento, al tiempo que

no modifican la ganancia de peso, lo cual implica una mejor conversión alimentaria; además, que cuando los rumiantes reciben dietas con elevada cantidad de forrajes, los ionóforos no deprimen el consumo, mejorando la ganancia de peso. Estos mismos autores afirman que los ionóforos mejoran la eficiencia productiva de bovinos en finalización debido a que inducen un metabolismo energético y nitrogenado más eficiente, disminuyendo los desórdenes metabólicos, especialmente la acidosis láctica crónica y el timpanismo.

Spires et al. (1990), observaron que el porcentaje de mejoría en GDP redujo los requerimientos de NEg de la dieta, con el aumento de la concentración, con un rango de NEg de 1,08 a 1,49 Mcal/kg. Al mismo tiempo, Zinn and Spires (1987), encontraron que laidlomocina aumentó en 11% la GDP en novillos en finalización, sin afectar consumo de materia seca.

Hanson y Klopfenstein (1979), observaron que la monensina incrementó la eficiencia alimenticia en novillos cruzados alimentados con una dieta para crecimiento con base en silo de maíz y complementada con los granos secos de destilería. Asimismo, no observaron efecto sobre la eficiencia alimenticia cuando la urea era la única fuente de suplemento de N. De la misma manera Lana et al. (1997), observaron que monensina incrementó la eficiencia del alimento en novillos Holstein alimentados con una dieta alta en concentrado (90%), suplementado con pasta de soya, sin afectar la eficiencia del alimento cuando la urea era la única fuente de N suplementario. Respuestas tales como

una disminución en el consumo de materia seca han sido reportadas por otros autores como consecuencia de la suplementación de monensina en dietas para ganado de finalización (Zinn, 1987; NRC, 1999).

### **Efecto sobre Características de la Canal**

Potter et al. (1976), realizaron un estudio donde monensina tuvo un pequeño efecto sobre la composición de la canal, deprimiendo el porcentaje de rendimiento ( $P < 0.05$ ) en respuesta a la suplementación de 79 ppm; mientras que al suplementar a niveles de 14,5 ppm, no se observaron efectos ( $P > .10$ ). Al mismo tiempo, no se observaron efectos sobre la grasa de la canal. Sin embargo, el peso de la canal se redujo ( $P < 0.05$ ) en respuesta a la suplementación de 33 ppm de monensina. Acorde con estos autores, parece ser que esta diferencia se debió a un peso ligeramente menor al sacrificio. Al mismo tiempo, no se observaron cambios de respuesta sobre las características de la canal ni sobre la incidencia de abscesos hepáticos ( $P > .10$ ).

La inclusión de ionóforos en alimentación de ganado de engorda no ha sido capaz de alterar de manera constante la composición de la canal e indican que las mejoras en la eficiencia de alimentación observados por Raun et al. (1976) no fueron el resultado de la densidad de energía alterados en la canal. El aumento de la eficiencia de la retención de la energía en el canal indica que la monensina permite que el animal utilice más eficientemente la energía de alimentación para la ganancia de canal.

Mientras que Zinn et al. (2000) en un experimento utilizando laidlomocina notaron un pequeño aumento ( $P < 0.05$ ) sobre la grasa renal, pélvica y cardiaca (KPH) (15,5%), espesor de grasa (28,2%), y el área del músculo *longissimus* (3,2%), Zinn y Spires (1987), observaron un aumento del grosor de grasa y el grado de marmoleo en respuesta a la suplementación de laidlomocina. En otros trabajos (Spires et al., 1990; Zinn et al., 1996; Ramírez et al., 1998), no fueron observados efectos ( $P > .10$ ) de la suplementación de ionóforos sobre las características de la canal.

## MATERIALES Y METODOS

Todos los procedimientos relacionados al cuidado y manejo de las unidades experimentales se realizaron de acuerdo a lo establecido por “The University of California, Davis, Animal Use and Care Committee”, para la prueba 1, y por lo establecido por la norma oficial mexicana “Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio” (NOM-062-ZOO-1999), para la prueba 2.

**Prueba 1.** El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Desert Research and Extension Center, situado en El centro CA, USA, perteneciente a la University of California, Davis, CA. USA. Doscientos novillos Holstein (117 kg) fueron utilizados en un experimento de 335-d para evaluar los efectos de diferentes ionóforos sobre comportamiento productivo en crecimiento-engorda y características de la canal de novillos alimentados con dietas de finalización. Los novillos procedían de Tulare, California, EUA, y fueron recibidos en la Universidad de California, en el Desert Research Center, El Centro CA. A su llegada, los novillos fueron vacunados contra la IBR, BVD (Tipo 1 y 2), PI<sub>3</sub>, BRSV, leptospirosis (2 mL, SC, Bovishield Gold, Pfizer, New York, NY), Clostridia (5 mL, SC, Ultrabac 8, Pfizer, New York, NY), tratamiento antiparásitos externos e internos (3 mL SC, Dectomax, Pfizer, New York, NY), inyectados con Vital E-AD (5 mL, SC, 100,000 vitamina A/mL, Stuart products, Bedford, TX), e inyectados con 12 mL de Liquamicina (LA-200, Pfizer, New York, NY). Los novillos fueron bloqueados por peso en 10 grupos, y luego se asignaron de forma aleatoria a 40 corrales (5 novillos/corral). Cada corral

contó con 75m<sup>2</sup> de superficie y 26,7 m<sup>2</sup> de sombra y estaban equipados con bebederos automáticos y 4.3-m de comederos lineales. Durante los 8 días preliminares al inicio de la prueba, todos los novillos recibieron la dieta control (Tabla 1). Cuatro tratamientos fueron comparados en la dieta: control (no ionóforo); 2) monensina (36.7 mg/kg, base MS); 3) Laidlomocina (12.2 mg/kg base MS); 4) Deccox 6 (260 g Deccox/ton corta) los primeros 56 días seguidos por laidlomocina como en el tratamiento 3. Las dietas se prepararon a intervalos semanales y se almacenaron en cajas de madera y puestas en frente de cada corral. Los novillos fueron alimentados *ad libitum*, proporcionándoseles alimento fresco dos veces al día. Los novillos fueron implantados con Revalor-S (Intervet/Schering-Plough Animal Health, Millsboro, DE) en los días 112 y 224. Las estimaciones del desempeño productivo de los novillos se basaron en la media por corral.

La energía de ganancia (EG) fue calculada de acuerdo con la ecuación  $EG = GDP^{1.097} 0.0557 PV^{0.75}$ , donde EG es la energía diaria depositada (Mcal/d), y PV es la media de el peso vivo vacío (kg; NRC, 1984). La energía de mantenimiento EM fue calculada mediante la ecuación  $EM = 0.084 PV^{0.75}$  (NRC, 1988). La ENG de la dieta fue derivada a partir de la ENm mediante la ecuación  $ENG = 0.883 ENm - 0.42$  (derivada de NRC, 1996 ;  $R^2 = 0.9997$ ). Los pesos de la canal caliente fueron obtenidos al momento del sacrificio de los novillos. Después las canales se enfriaron por 48 h, y seguido de esto se obtuvieron las siguientes medidas: área del musculo *Longissimus* (cm<sup>2</sup>) tomada con una plantilla de lectura a la altura de la 12<sup>va</sup> y 13<sup>va</sup> Costilla; grasa renal, pélvica y

cardiaca (KPH) como porcentaje de peso de la canal caliente; y marmoleo (USDA, 1997; usando 3.0 como mínimo escaso, 4.0 como mínimo pequeño, 5.0 as mínimo modesto, 6.0 como mínimo moderado).

**Prueba 2.** El experimento se llevo a cabo en la Unidad de Laboratorio de Digestión y Metabolismo de Rumiantes del Instituto de Investigación de Ciencias Veterinarias (IICV) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), ubicada a 10 km al sur de Mexicali, en el noroeste de México con una latitud de 32°40', una longitud de 115°28', una altitud de 10 m sobre el nivel del mar y condiciones desérticas.

### **Unidad experimental**

Se utilizaron cuatro novillos Holstein ( $390 \pm 5$  kg de PV) clínicamente sanos y habilitados con cánulas en el rumen y duodeno proximal (González-Vizcarra y Montano-Gomez). Tanto las cánulas instaladas en rumen (80 mm de diámetro interno) como en duodeno (25 mm de diámetro interno) fueron cánulas tipo "T" de y se elaboraron con material de tygon inerte (\*USP, Lima, Ohio). Los novillos fueron adaptados a las dietas experimentales 14 días previo al inicio del experimento y se identificaron con aretes con numeración progresiva del 1 al 4.

### **Dietas**

Los novillos fueron alimentados con 4 diferentes dietas elaboradas en base de maíz hojuelado (densidad aproximada de 0.32 kg/L), la composición y aporte nutrimental expresado en base MS calculado (NRC, 1996). Se incluyó oxido crómico (4.0 g/kg de MS) como marcador de digestión. Las raciones

fueron elaboradas en la planta de alimentos del IICV-UABC. Las dietas se elaboraron en una sola ocasión y se almacenaron en cajas de madera con tapa de capacidad de 1m<sup>3</sup>, esto se realizó para disminuir la variación del contenido nutrimental y concentración final de cromo en las dietas experimentales. La adición de cromo fue a través del uso de una premezcla la cual fue elaborada en la planta de alimentos del Desert Research and Extension Center, campo experimental de la Universidad de California, Davis, CA, USA. La premezcla fue agregada junto a la inclusión del maíz, y posteriormente fueron mezclados con el resto de los componentes de las dietas. El tiempo de mezclado fue de 15 minutos utilizando un mezclador horizontal (Modelo HD-20; HC Davis Sons Manufactory Co., Bonner Spring, KS) de capacidad de 2.5 m<sup>3</sup>.

### **Instalaciones y muestreo**

Los novillos fueron alojados (instalaciones interiores) en corraletas individuales (3,9 m<sup>2</sup>) las cuales contaron con piso de concreto cubierto por alfombra de neopreno, bebederos automáticos compartidos y comederos individuales. El cuidado de los animales y las técnicas de manejo fueron aprobados por la Delegación Estatal en Baja California de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, acorde con la NOM-050-ZOO 1995. Los tratamientos consistieron en: TMT1: sin ionóforo (Control); TMT2: 1.44 g/d Monensina; TMT3: 0.70 g/d laidlomocina; TMT4: 2.28 g/d Deccox. El consumo de materia seca fue restringido a 8,00 kg d<sup>-1</sup> (2.2% PV). Todos los novillos fueron alimentados diariamente por partes iguales a las 08:00 y 20:00 hrs. La composición de la dieta basal se muestra en la Tabla 1. El

óxido de cromo (utilizado como un marcador indigestible para estimar el flujo de nutrientes y la digestibilidad) se mezcló previamente con ingredientes menores (urea, piedra caliza y sal de minerales traza) antes de la incorporación en las dietas. La prueba consistió en cuatro periodos experimentales de 14 días c/u. Cada período experimental consistió en un período de adaptación a la dieta 10-d seguido de un periodo de recolección de muestras 4-d. Durante el período de recolección, muestras duodenales y fecales fueron tomadas de todos los novillos, dos veces al día como sigue: d1, 10:30 y 16:30; d2, 09:00 y 15:00; d3, 07:30 y 13:30, y d4, 06:00 y 12:00 hrs. La toma de muestras individuales consistió en aproximadamente 700 ml de quimo duodenal y 200 g (base húmeda) de material fecal. Las muestras de cada novillo en cada periodo de recolección fueron mezcladas para su análisis. Durante el día final de cada periodo de recolección, una muestra ruminal se obtuvo de cada animal a 4 h postconsumo a través de la cánula ruminal. Una muestra de fluido ruminal fue tomada por medio de una bomba de vacío (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL) usando un tubo Tygon (1,90 cm ID, 3/4 pulg; USP, Lima, OH), y el pH se determinó de manera inmediata en muestras frescas. Durante el último día del experimento, una muestra de fluido ruminal (150 ml) se obtuvo de cada animal, posteriormente se mezcló para el aislamiento de bacterias ruminales mediante centrifugación diferencial (Bergen et al., 1968).

## **Análisis de laboratorio**

El aislado microbiano sirvió de referencia purina:N para la estimación de N microbiano (MN) y la contribución del fluido al intestino delgado (Zinn y Owens, 1986). Las muestras fueron sometidas a todo o parte de los siguientes análisis: DM (secado en horno a 105 ° C hasta pérdida de peso constante); ceniza, Kjeldahl N, N amoniacal (AOAC, 1984); FND (Goering y Van Soest, 1970, corregido para FND-cenizas), ácidos grasos (AG; Sukhija y Palmquist, 1988); purinas (Zinn y Owens, 1986), energía bruta (EB, utilizando una bomba calorimétrica adiabática; óxido cromico (Hill and Anderson, 1958) y almidón (Zinn, 1990). El flujo duodenal y la excreción fecal de MS se calcularon en base en la relación de marcador, usando óxido de cromo. La materia orgánica microbiana (MOM) y el N microbial (NM), dejando el abomaso fue calculado usando purinas como marcador microbiano (Zinn y Owens, 1986). La materia orgánica fermentada en el rumen se considera igual a la ingesta de MO menos la diferencia entre la cantidad total de MO que llega al duodeno y MOM llegando al duodeno. El N alimenticio de escape al intestino delgado se consideró igual al total de N dejando el abomaso menos N amoniacal y NM y por lo tanto, incluye todas las contribuciones endógenas.

## Diseño y análisis

Los datos experimentales fueron analizados como un diseño experimental en bloques completamente al azar. No hubo interacciones entre PV inicial promedio del grupo y tratamientos en la dieta ( $P > 0,20$ ).

El modelo estadístico para el ensayo fue como sigue:

$$Y_{ij} = \mu + W_i + T_j + \epsilon_{ij} \text{ (Hicks, 1973),}$$

donde:  $Y_{ijk}$  es la variable de respuesta

$\mu$  es el efecto experimental común

$W_i$  representa el efecto peso inicial promedio por grupo

$T_j$  representa el efecto del tratamiento en la dieta

$\epsilon_{ij}$  es el error residual. Se utilizó un nivel de significancia ( $P < 0,05$ ) F-estadísticas fueron detectadas, las medias fueron separadas utilizando el método de la diferencia menos significativa

Los efectos de la suplementación de los ionóforos en la prueba de metabolismo digestivo fueron analizados en un diseño en Cuadrado Latino. Los efectos de los tratamientos fueron probados usando los contrastes indicados para la prueba 1.

Los efectos de los fueron probados mediante los siguientes contrastes

- 1) Control vs ionoforos
- 2) Mon vs laid
- 3) Dec-laid vs laid

Tabla 1. Composición basal de las dietas experimentales para alimentación de los novillos (Exp 1 y 2)

ingrediente	Dieta Basal %, BMS
Maíz hojueado a vapor	58.90
Heno de alfalfa	4.00
Heno de sudán	8.00
DDGS	20.00
Grasa amarilla	2.50
Melaza de caña	4.00
Urea	0.60
Piedra caliza	1.65
Oxido de magnesio	0.05
Sal de minerales traza <sup>1</sup>	0.30
Composición de nutrientes (en base MS) <sup>2</sup>	
EN, Mcal/kg	
Mantenimiento	2.20
Ganancia	1.53
Proteína cruda, %	15.00
Calcio %	0.80
Fosforo, %	0.50
Potasio, %	1.00
Magnesio, %	0.32
azufre, %	0.20

<sup>1</sup> contenido de sal de minerales traza : CoSO<sub>4</sub>, .068%; CuSO<sub>4</sub> , 1.04%; FeSO<sub>4</sub> , 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO<sub>4</sub> , 1.07%; KI, .052%; y NaCl, 92.96%. Óxido de cromo (0.40%) fué adicionado como un marcador de la dieta en Exp. 1.

<sup>2</sup> Basado en valores tabulares para cada ingrediente en la ración (NRC, 2000).

**Tabla 2. Efecto de la suplementación laidlomocina en características de la digestión**

<sup>1</sup> El consumo en materia seca fue restringido a 2.2% of PV diariamente.

ITEM	tratamiento				Valor - P				
	CON	MON	LAID	DEC-LAID	CON VS IONOF	MON VS LAID	DEC-LAID VS LAID	VS	CME
Repeticiones consumo, g/d <sup>1</sup>	4	4	4	4					
MS	7014.55	7014.55	7014.55	7014.55	-	-	-	-	-
MO	6582.23	6582.23	6582.23	6582.23	-	-	-	-	-
NDF	1255.06	1255.06	1255.06	1255.06	-	-	-	-	-
Almidón	2922.80	2922.80	2922.80	2922.80	-	-	-	-	-
N	144.39	144.39	144.39	144.39	-	-	-	-	-
Flujo a duodeno ,g/d									
MO	3214.6	3505.0	3154.4	3716.8	0.29	0.22	0.07		181.1
NDF	681.9	676.7	643.8	761.8	0.87	0.72	0.22		61.4
Almidón	684.1	841.8	729.2	855.5	0.10	0.20	0.16		55.2
N	146.3	151.9	137.2	144.4	0.80	0.11	0.40		5.6
N microbial	87.7	82.7	79.4	79.3	0.33	0.70	0.99		5.9
N amoniacal	140.1	144.9	131.2	137.7	0.74	0.13	0.43		5.5
N de la dieta	52.4	62.2	51.8	58.4	0.06	0.01	0.05		1.9
Digestión Ruminal %									
MO	64.5	59.3	64.2	55.5	0.18	0.26	0.07		0.03
NDF	45.6	46.1	48.7	39.3	0.87	0.72	0.22		0.05
Almidón	76.6	71.2	75.0	70.9	0.09	0.20	0.17		0.02
Nitrogeno de la dieta	63.7	56.9	64.1	59.6	0.06	0.01	0.05		0.01
NM eficiencia <sup>2</sup>	20.7	21.3	18.8	22.3	0.95	0.36	0.21		1.79
N eficiencia <sup>3</sup>	0.97	1.0	0.91	0.95	0.76	0.13	0.44		0.04
Excreción fecal, g/d									
MO	1153.6	1237.1	1199.0	1258.0	0.37	0.71	0.57		70.2
NDF	482.5	519.1	492.0	530.5	0.57	0.69	0.57		45.4
Almidón	47.6	64.9	83.9	80.4	0.01	0.12	0.75		7.3
N	38.6	41.4	38.9	42.4	0.40	0.45	0.29		2.15
Digestión Postruminal %									
MO	64.0	64.6	61.8	65.4	0.99	0.38	0.27		0.21
NDF	23.0	22.1	22.5	23.8	0.99	0.98	0.93		0.10
Almidón	93.0	92.0	88.1	90.8	0.06	0.03	0.10		0.01
N	73.5	72.8	71.6	70.5	0.22	0.5	0.55		0.01
Digestion total del tracto%									
MO	82.5	81.2	81.8	80.9	0.38	0.73	0.58		0.01
NDF	61.6	58.7	60.8	57.7	0.57	0.70	0.57		0.04
Almidón	98.4	97.8	97.1	97.3	0.01	0.11	0.74		0.01
N	73.2	71.3	73.1	70.6	0.40	0.44	0.29		0.02

<sup>2</sup> Nitrógeno microbial , g/kg MO fermentada.

<sup>3</sup> N no amoniacal que fluye al intestino delgado como una fracción del N consumido.

**Tabla 3. Efecto de la suplementación de laidlomocina en características de la canal de novillos en corral de engorda**

Item	tratamiento				Valor - <i>P</i>				SEM
	Con	Mon	Laid	Dec-Laid	Con Ionof	Vs	Mon Vs Laid	Dec- Laid Vs Laid	
Peso de la canal, kg	365.5	370.2	378.1	377.5	0.07		0.17	0.93	6.15
Porcentaje de rendimiento	62.3	62.2	62.5	62.0	0.82		0.80	0.23	0.36
KPH % <sup>1</sup>	2.4	2.4	2.5	2.4	0.26		0.79	0.61	0.09
Grasa dorsal, cm <sup>2</sup>	0.7	0.7	0.8	0.8	0.02		0.04	0.53	0.06
AOC, cm <sup>2</sup>	79.3	77.7	77.8	77.3	0.27		0.93	0.82	1.86
Grado de Rendimiento, %	50.4	50.0	49.6	49.5	0.01		0.12	0.74	0.31
Grado de calidad	4.8	5.1	5.2	5.1	0.17		0.91	0.75	0.32

<sup>1</sup> riñón, pelvis y corazón como un porcentaje del peso de la canal.

<sup>2</sup> grasa dorsal, medida en 12va y 13va costilla.

**Tabla 4. Efecto de la suplementación de laidlomocina en pH ruminal, y perfiles de Ácidos grasos volátiles**

Item	tratamiento				Valor - <i>P</i>			
	CON	MON	LAI	DEC-	CON	MON	DEC-	SEM
				LAI	VS IONOF	VS LAI	VS LAI	
pH ruminal <sup>1</sup>	6.55	6.24	6.53	6.43	0.09	0.02	0.32	0.07
AGV ruminales, mol/100mol								
Acetato	39.9	47.2	43.1	45.0	0.17	0.37	0.67	2.93
Propionato	18.3	22.8	15.5	16.6	0.99	0.05	0.72	2.06
Butirato	1.0	1.0	0.9	1.0	0.66	0.56	0.56	0.11
AGV ruminales totales VFA, mM	68.9	83.2	71.7	77.7	0.11	0.09	0.33	3.99
Acetato/propionato	2.4	2.2	2.8	2.8	0.59	0.17	0.95	0.28

<sup>1</sup> Medido 4-h después de la comida de la mañana

**Cuadro 5. Efecto de la suplementación de laidlomocina en el crecimiento de novillos y el valor neto de energía de la dieta**

Item	tratamiento				Valor - <i>P</i>			
	CON	MON	LAI	DEC-LAI	CON VS IONOF	MON VS LAID	DEC-LAI VS LAID	SEM
repeticiones	10	10	10	10				
PV, kg <sup>1</sup>								
Inicial	115.3	116.3	117.7	117.5	0.18	0.37	0.91	1.70
Final	586.7	595.4	605.1	608.7	0.03	0.14	0.69	8.71
GDP, kg/d								
d-1 a 56	1.02	1.11	1.09	1.16	0.02	0.72	0.16	0.05
d-57 a 120	1.08	1.13	1.15	1.17	0.03	0.36	0.66	0.04
d-121 a 224	1.51	1.49	1.55	1.55	0.47	0.08	0.81	0.04
d-225 a 335	1.67	1.70	1.70	1.70	0.29	0.87	0.85	0.04
d-1 a 335	1.41	1.43	1.46	1.47	0.04	0.16	0.65	0.02
CMS								
d-1 a 56	4.04	4.11	4.34	4.26	0.05	0.07	0.52	0.12
d-57 a 120	4.82	4.87	5.03	5.21	0.03	0.02	0.11	0.11
d-121 a 224	7.36	7.45	7.71	7.82	0.04	0.04	0.54	0.17
d-225 a 335	10.58	10.49	10.87	10.84	0.26	0.02	0.88	0.17
d-1 a 335	7.51	7.53	7.79	7.89	0.03	0.01	0.45	0.12
CA								
d-1 a 56	0.25	0.27	0.25	0.27	0.05	0.19	0.01	0.01
d-57 a 120	0.22	0.23	0.23	0.22	0.25	0.15	0.28	0.01
d-121 a 224	0.21	0.20	0.20	0.20	0.12	0.93	0.78	0.04
d-225 a 335	0.16	0.16	0.16	0.16	0.71	0.05	0.71	0.01
d-1 a 335	0.19	0.19	0.19	0.19	0.98	0.03	0.64	0.01

EN de la dieta,

Mcal/kg<sup>2</sup>

Mantenimiento	2.20	2.23	2.21	2.20	0.37	0.19	0.75	0.02
---------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Ganancia	1.51	1.55	1.53	1.52	0.37	0.19	0.75	0.02
----------	------	------	------	------	------	------	------	------

Observada/esperada

EN

Mantenimiento	0.99	1.01	1.00	1.00	0.37	0.19	0.76	0.01
---------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Ganancia	0.99	1.01	1.00	0.99	0.37	0.19	0.76	0.01
----------	------	------	------	------	------	------	------	------

---

(NRC, 1984), y CMS proporcional para las respectivas dietas

<sup>2</sup> valores de EN promedio, para las formulaciones basados en valores tabulares

<sup>1</sup> PV Inicial y final se mermo 4% para descontar el contenido del tracto digestivo

## RESULTADOS Y DISCUSION

La GDP fue mejorada 4% con el uso de ionoforos ( $p=.04$ ) durante la duración del experimento, al mismo tiempo, se observó un consumo menor para el grupo control, sin embargo no hubo diferencia significativa en la CA entre tratamientos. Esto coincide con los resultados obtenidos por Huntington (1992), donde aunque la adición de estos aditivos a bovinos en pastoreo tuvieron poco efecto sobre CA, mejoraron en un 6% la ganancia de peso. Resultados similares han sido reportados en otros estudios que han utilizado laidlomocina. Zinn y Spires (1987) encontraron que laidlomocina aumentó 11% la GDP en novillos, sin afectar el CMS de las dietas. Además, la CA se mejoró 8% en respuesta a la suplementación del ionoforos.

Los tratamientos utilizados no tuvieron la capacidad para modificar el desempeño de las variables tomadas en rastro y no afectaron las características de la canal, en comparación del grupo control y los tratamientos con ionoforos. Esto en similitud con los datos obtenidos en estudios anteriores (Spires et al., 1990; Zinn et al., 1996; Ramirez et al., 1998).

En el experimento de metabolismo la digestión ruminal de MO fue afectada por la combinación de decc-laid, disminuyéndose la digestión rumial un 14% con respecto al grupo control. El flujo de nitrógeno de la dieta a duodeno disminuyó un 10% ( $P <.10$ ) en respuesta a la suplementación de monensina, con respecto al grupo control y un 11% ( $P <.10$ ) con respecto al grupo que conteniendo

laidlomocina. La digestión ruminal y del tracto total del almidón no fue afectada por los tratamientos, lo cual concuerda con lo reportado por otros autores (Bartley et al., 1979; Poos et al., 1979; Muntifering et al., 1981; Zinn, 1987, 1988; Zinn et al., 1996; Ramirez et al., 1998)

El pH ruminal se mantuvo similar entre tratamientos, notándose una ligera disminución para el tratamiento conteniendo Monensina ( $p=.02$ ), de acuerdo con los resultados obtenidos por Campbell et al. (1997), quienes suplementaron dietas a base de maíz, con laidlomocina o monensina, reportaron que laidlomocina y monensina no tuvieron ningún efecto sobre la tasa de dilución de fluido ruminal, volumen de líquido ruminal, o pH ruminal. Además, Yang y Russell (1993), señalaron que la tasa de dilución del fluido ruminal, volumen ruminal, y pH ruminal no se alteraron mediante la adición de monensina (350 mg/d) al utilizarlos en dietas de vacas no lactantes. En contraste, Lemenager et al. (1978), reportaron que los novillos consumiendo una dieta de forraje de baja calidad con 200 mg/d de monensina habían disminuido las tasas de dilución de fluidos ruminales (44%) y los volúmenes de líquido ruminal (36%) en comparación con los controles no suplementados con monensina. Además, Burrin y Britton (1986), reportaron que la suplementación del ionóforo aumentó del pH ruminal con las dietas de novillos consumiendo 150 o 300 mg de monensina/d concentrado en comparación con los grupos control. Resultados similares fueron reportados por Galyean et al. (1992), en respuesta a la suplementación de 6 ó 12 mg laidlomocina/kg dieta. Al mismo tiempo, observamos un aumento de 30% en la proporción de propionato

para el tratamiento conteniendo monensina, en comparación con el tratamiento laidlomocina ( $P < .05$ ), lo cual concuerda con experimentos realizados donde Bohnert et al. (2000), encontraron que la suplementación de laidlomocina redujo la proporción de acetato e incrementó la de propionato. Por el contrario, en algunos estudios los ionóforos redujeron la concentración de AGV totales (Gates et al., 1989; Spears et al., 1989), mientras que en otros no hubo cambios en las proporciones ruminales de acetato y propionato cuando laidlomocina se suplementó en dietas altas en concentrados (Zinn and Spires, 1987; Bagley et al., 1988; Branine y Galyean, 1990; Bogaert et al., 1991; Sticker et al., 1991; Newbold et al., 1993a). Estas diferencias entre los resultados experimentales probablemente se deben a variaciones en los niveles de ionóforos o en los distintos potenciales por gramo entre ionóforos; por ello, se deben controlar estos factores al hacer comparaciones directas entre ellos (Huntington, 1996).

## **CONCLUSIONES**

La suplementación de ionoforos en dietas de crecimiento-finalización de novillos en corral puede incrementar la eficiencia de las dietas mediante un incremento de la ganancia diaria de peso sin afectar el consumo de materia seca ni las características de la canal. Parte de estas respuestas pueden ser explicadas por incrementos significativos tanto de la utilización del N de la dieta sin incremento en la formación de amoníaco, como en los niveles de propionato a nivel ruminal, especialmente en respuesta a la suplementación de monensina.

## LITERATURA CITADA

- Bartley, E. E., E. L. Herod, R. M. Bechtle, D. A. Sapienza, and B. E. Brent. 1979. Effect of monensin or lasalocid, with and without niacin or amicloral, on rumen fermentation and feed efficiency. *J. Anim. Sci.* 49:1066–1084.
- Bergen, W. G. and D. B. Bates, 1984. Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.* 58:1465.
- Berger LL, Ricke SC, Fahey GC (1981) Comparison of two forms and two levels of lasalocid with monensin on feedlot cattle performance. *J. Anim. Sci.* 53: 1440- 1445.
- Bohnert, D. W., D. L. Harmon, K. A. Dawson, B. T. Larson, C. J. Richards, and M. N. Streeter. 2000. Efficacy of laidlomycin propionate in low-protein diets fed to growing beef steers: effects on steer performance and ruminal nitrogen metabolism. *J. Anim. Sci.* 78:173–180.
- Branine, M. E., and M. L. Galyean. 1995. Influence of limited grain supplementation on ruminal fermentation, forage intake, digestibility, and digesta kinetics in beef steers grazing irrigated winter wheat pasture. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 46:395
- Burrin, D. G. and R. A. Bntton. 1986. Response to monensin In cattle during subacute acidosis. *J. Anim. Sci.* 63:888.
- Campbell, C. G., E. C. Titgemeyer, and G. St-Jean. 1997. Sulfur amino acid utilization by growing steers. *J. Anim. Sci.* 75:230–238.

- Chen M, Wolin MJ (1979) Effect of monensin and lasalocid-sodium on the growth of methanogenic and rumen saccharolytic bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 38: 72- 77.
- Chow JM, Russell JB (1992) Effect of pH and monensin on glucose transport by *Fibrobacter succinogenes*, a cellulolytic ruminal bacterium. *App. Microbiol.* 58: 1115-1120.
- Clary, E. M., R. T. Brandt, Jr., D. L. Harmon, and T. G. Nagaraja. 1993. Supplemental fat and ionophores in finishing diets: Feedlot performance and ruminal digesta kinetics in steers. *J. Anim. Sci.* 71:3115–3123.
- Dennis SM, Nagaraja TG, Bartley EE (1981) Effects of lasalocid or monensin on lactate-producing or-using rumen bacteria. *J. Anim. Sci.* 52: 418-426.
- DiCostanzo A., Williams J. E., Keisler D. H. 1999. Effects of short- or long-term infusions of acetate or propionate on luteinizing hormone, insulin, and metabolite concentrations in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 77:3050–3056.
- Dinius, D. A. 1976. Intake and digestion of HCHO treated hay diet by steers. *J. Anim. Sci.* 42:1583.
- Erickson, G. E., C. T. Milton, K. C. Fanning, R. J. Cooper, R. S. Swingle, J. C. Parrott, G. Vogel, and T. J. Klopfenstein. 2003. Interaction between bunk management and monensin concentration on finishing performance, feeding behavior, and ruminal metabolism during an acidosis challenge with feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81:2869–2879.

- Galyean, M. L., K. J. Malcolm, and G. C. Duff. 1992. Performance of feedlot steers fed diets containing laidlomycin propionate or monensin plus tylosin, and effects of laidlomycin propionate concentration on intake patterns and ruminal fermentation in beef steers during adaptation to a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 70:2950–2958.
- Gill, D. R., F. N. Owens, J. J. Martin, D. E. William, and J. H. Thornton. 1977. Protein levels and rumensin for feedlot cattle. *Anim. Sci. Res. Rep. Oklahoma Agric. Exp. Sta. Misc. Publ.* 101:42–47.
- Gill, D. R., J. J. Martin, F. N. Owens, C. A. Strasia, R. B. Hicks, H.R. Spires. 1987. The effect of laidlomycin propionate on the performance and carcass merit of feedlot steers and heifers. *Anim. Sci. Res. Rep. Oklahoma Agric. Exp. Sta. Misc. Publ.* 119:332–336.
- Goodrich, R. D., J. E. Garrett, D. R. Gast, M. A. Kirick, D. A. Larson, and J. C. Meiske. 1984. Influence of monensin on the performance of cattle. *J. Anim. Sci.* 58:1484–1498
- Hanson, T. L. and T. Klopfenstein. 1979. Monensin, protein source and Protein levels for growing steers. *J. Anim. Sci.* 48:474.
- Hutjens, M. F. H. H. Van Horn and C. J. Wilcox, ed. Am. 1992. Selecting feed additives. Pages 309–317 in *Large Dairy Herd Management*. Dairy Sci. Assoc., Champaign, IL.

- Kirk, D. J., L. W. Greene, G. T. Schelling and F. M. Byers. 1985. Effects of monensin on monovalent ion metabolism and tissue concentrations in lambs. *J. Anim. Sci.* 60:1479.
- Lana, R. P., D. G. Fox, J. B. Russell, and T. C. Perry. 1997. Influence of monensin on Holstein steers fed high-concentrate diets containing soybean meal or urea. *J. Anim. Sci.* 75:2571–2579.
- Lemenager, R. P., F. N. Owens, K. S. Lusby and R. Totusek. 1978. Monensin, forage intake and lactation of range beef cows. *J. Anim. Sci.* 47:247.
- Morris, F. E., M. E. Branine, M. L. Galyean, M. E. Hubbert, A. S. Freeman, and G. P. Lofgreen. 1990. Effect of rotating monensin plus tylosin and lasalocid on performance, ruminal fermentation, and site and extent of digestion in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:3069–3078.
- Muntifering, R. B., B. Theurer, and T. H. Noon. 1981. Effects of monensin on site and extent of whole corn digestion and bacterial protein synthesis in beef steers. *J. Anim. Sci.* 53:1565–1573
- Nagaraja TG, Avery TB, Bartley EE, Roof SK, Dayton AD (1982) Effect of lasalocid, monensin or thiopeptin on lactic acidosis in cattle. *J. Anim. Sci.* 54: 649-456.
- Newbold, C. J., R. J. Wallace, and N. McKain. 1990. Effects of the ionophore tetronasin on nitrogen metabolism by ruminal microorganisms in vitro. *J. Anim. Sci.* 68:1103.

- NOM-051-ZOO-1995. Trato humanitario en la movilización de animales.
- NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.
- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. Nat. Acad. Press, Washington, DC.
- Oehme, F. W., and J. A. Pickrell. 1999. An analysis of the chronic oral toxicity of polyether ionophore antibiotics in animals. *Vet. Hum. Tox.*41:251–257.
- Perry, T. W., W. M. Beeson and M. T. Mohler. 1976. Effect of monensin on beef cattle performance. *J. Anlm. Sci.* 42:761.
- Poos, M. I., T. L. Hanson, and T. J. Klopfenstein. 1979. Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. *J. Anim. Sci.* 48:1516–1524.
- Potter, E. L., A. P. Raun, C. O. Cooley, R. P. Rathmacher and L. F. Richardson. 1976b. Effect of monensin on carcass characteristics, carcass composition and efficiency of converting feed to carcass. *J. Anim. Sci.* 43:678.
- Potter, E. L., C. O. Cooley, L. F. Richardson, A. P. Raun and R. P. Rathmacher. 1976a. Effect of monensin on performance of cattle fed forage. *J. Anim. Sci.* 43:665.
- Ramírez, J. E., E. G. Alvarez, M. Montaña, Y. Shen, and R. A. Zinn. 1998. Influence of dietary magnesium level on growth-performance and metabolic

- responses of Holstein steers to laidlomycin propionate. *J. Anim. Sci.* 76:1753–1759.
- Rumpler, W. V., D. E. Johnson, and D. B. Bates. 1986. The effect of high dietary cation concentration on methanogenesis by steers fed diets with and without ionophores. *J. Anim. Sci.* 62:1737–1741.
- Russell JB 1987. A proposed mechanism of monensin action in inhibiting ruminal bacterial growth: effects on ion flux and protonmotive force. *J. Anim. Sci.* 64:1519-1525.
- Russell, J. B., and H. J. Strobel. 1989. Effects of ionophores on ruminal fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 55:1
- Schelling, G. T. 1984. Monensin mode of action in the rumen. *J. Anim. ci.* 58:1518–1527
- Schwingel WR, Bates DB, Denham SC, Beede DK (1989) Lasalocid-catalyzed proton conductance in *Streptococcus bovis* as affected by extracellular potassium. *Appl. Environ. Microbiol.* 55: 259-260
- Spears JW (1990) Ionophores and nutrient digestion and absorption in ruminants. *J. Nutr.* 120: 632-638.
- Spears JW, Burns JC, Wolfrom GW (1989) Lysocellin effects on growth performance, ruminal fermentation, nutrient digestibility and nitrogen metabolism in steers fed forage diets. *J. Anim. Sci.* 67: 547-556.

- Spires, H. R., A. Olmsted, L. L. Berger, J. P. Fontenot, D. R. Gill, J.G. Riley, M. I. Wray, and R. A. Zinn. 1990. Efficacy of laidlomycin propionate for increasing rate and efficiency of gain by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:3382–3391.
- Stock, R. A., M. H. Sindt, J. C. Parrott, and F. K. Goedeken. 1990. Effects of grain type, roughage level and monensin level on finishing cattle performance. *J. Anim. Sci.* 68:3441–3455.
- Wampler, J. L., S. A. Martin, and G. M. Hill. 1998. Effects of laidlomycin propionate and monensin on glucose utilization and nutrient transport by *Streptococcus bovis* and *Selenomonas ruminantium*. *J. Anim. Sci.* 76:2730–2736
- Yang, C.-M.J., and J. B. Russell. 1993. The effect monensin supplementation on ruminal ammonia accumulation in vivo and the numbers of amino acid-fermenting bacteria. *J. Anim. Sci.* 71:3470
- Yokoyama MT, Jhonson KA (1988) Microbiología del rumen e intestino. En: El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. DC Church. Acribia. Zaragoza, España. pp. 137-157.
- Zinn RA, Placencia A, Barajas R (1994) Interaction of forage level and monensin in diets for feedlot cattle on growth performance and digestive function. *J. Anim. Sci.* 72: 2209-2215.
- Zinn, R. A. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 65:256–266

- Zinn, R. A., and H. R. Spires. 1987. Influence of laidlomycin supplementation on feedlot performance and digestive function in steers. *J. Anim. Sci.* 5(Suppl. 1):457.
- Zinn, R. A., and J. L. Borquez. 1993. Influence of sodium bicarbonate and monensin on utilization of a fat-supplemented, high-energy growing-finishing diet by feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 71:18–25.
- Zinn, R. A., E. G. Alvarez, M. F. Montano, A. Plascencia, and J. E. Ramirez. 1998. Influence of tempering on the feeding value of rolled corn in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2239–2246.
- Zinn, R. A., Y. Shen, C. F. Adam, M. Tamayo, and J. Rosalez. 1996. Influence of dietary magnesium level on metabolic and growth performance responses of feedlot cattle to laidlomycin propionate. *J. Anim. Sci.* 74:1462–1469.