

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**TITULO DE LA MONOGRAFIA**

**ALIMENTACIÓN SUSTENTABLE DE GANADO DE CARNE EN CORRAL**

**POR:**

**AGUSTIN GUILLERMO MADERO CARRILLO**

**MONOGRAFIA:**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA**

**OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



POR:

AGUSTIN GUILLERMO MADERO CARRILLO

---

DR. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

ASESOR

---

DR. FRANCISCO GERARDO VELIZ DERAS

CO-ASESOR PRINCIPAL

---

M. C. GERARDO ARELLANO RODRÍGUEZ

CO-ASESOR PRINCIPAL

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA

ALIMENTACIÓN SUSTENTABLE DE GANADO DE CARNE EN CORRAL

POR:

AGUSTIN GUILLERMO MADERO CARRILLO

ASESOR PRINCIPAL

  
DR. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN REGIONAL  
DE CIENCIA ANIMAL

  
M.V.Z. RODRIGO ISIDRO SIMON ALONSO



Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



---

DR. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

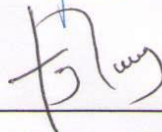
PRESIDENTE DEL JURADO



---

MC.GERARDO ARELLANO RODRIGUEZ

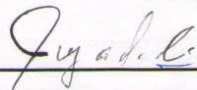
VOCAL



---

IZ. JORGE HORACIO BORUNDA RAMOS

VOCAL



---

MC.JOSE DE JESUS QUEZADA AGUIRRE

VOCAL SUPLENTE

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

**TÍTULO DE LA MONOGRAFIA**

**ALIMENTACIÓN SUSTENTABLE DE GANADO DE CARNE EN  
CORRAL**

**POR:**

**AGUSTIN GUILLERMO MADERO CARRILLO**

**Elaborado bajo la supervisión del comité particular de asesoría**

**ASESOR PRINCIPAL:**

**DR. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO**

**ASESORES:**

**DR. FRANCISCO GERARDO VELIZ DERAS**

**MC.GERARDO ARELLANO RODRIGUEZ**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

## DEDICATORIA

### **A Dios:**

Por darme la oportunidad de estar presente en este mundo, dándome un sin fin de cosas maravillosas, como mi familia, Cassandra por brindarme su apoyo y ayudarme cuando lo necesite por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, a la gente que durante este tiempo y siempre serán muy especiales en mi vida, por darme salud y bendiciones que me han ayudado para llegar a este punto de mi vida tan especial. “Dios, mil gracias”.

### **A mis padres:**

Agustín Madero Tamargo y María Gabriela Carrillo de Madero a quienes dedico de todo corazón este logro, agradeciendo toda la confianza que han depositado en mí, al darme su apoyo, al compartir mis logros y tropiezos sin pedir nada a cambio, nunca olvidare el esfuerzo y sacrificio que han hecho para que yo tuviera esta oportunidad dentro en mi vida sabiéndome guiar por el buen camino con su ejemplo y amor. “Dios los bendiga siempre”.

### **A mis hermanas:**

Gabriela Alejandra Madero Carrillo y Mariangel Madero Carrillo por el gran apoyo que recibí de ellos en cada uno de los momentos más difíciles, ya que siempre están ahí cuando los he requerido, gracias por su confianza y espero no defraudarlos. “De todo corazón mil gracias”.

## AGRADECIMIENTOS

**A mi “Alma Mater”** por las facilidades proporcionadas para prepararme profesionalmente y darme la oportunidad de haber formado parte de esta gran institución durante cinco años en los cuales me brindo las herramientas indispensables para formar y afrontar mi vida profesional.

**Doctor Pedro Antonio Robles Trillo**, mis más sinceros agradecimientos, por la oportunidad brindada en la realización de este trabajo y por compartir sus conocimientos y experiencia al contribuir como mi maestro en mi formación profesional.

**A mis maestros** que me brindaron sus conocimientos para mi formación profesional.

**A mis compañeros** con los cuales compartí estos cinco años y en especial a mis amigos que me brindaron su amistad y cariño sin pedir nada a cambio.

**A Dios** por estos cinco años que me permitió conocer gente hacer amigos y por darme salud y poner en mi camino a una persona muy especial Cassandra Garza. Gracias **“Dios”**.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
Introducción.....	1
Resumen.....	2
Revisión de Literatura.....	3
Crecimiento y desarrollo.....	3
Crecimiento, alimentación y ambiente.....	10
Contaminación por N.....	11
Contaminación por P.....	12
Contaminación por metano.....	13
Manipulación dietética para reducir la excreción del nitrógeno.....	14
Manipulación dietética para reducir la excreción de metano.....	21
Literatura citada.....	27



## Introducción

La formación del músculo es un proceso que comprende las etapas prenatal, perinatal y postnatal que inicia en el tallo mesodérmico y a través de procesos como determinación, proliferación, diferenciación y maduración hipertrófica terminan en la formación de la fibra muscular (Gerrard y Grant, 2003). Para el desarrollo muscular es necesario administrar compuestos químicos como el N, carbohidratos, grasas, vitaminas, minerales que según las características fisiológicas de los animales de engorda, determinan el valor nutricional de la dieta (Van Soest, 1994). La ración debe provocar crecimiento y desarrollo los cuales permiten medir el rendimiento animal a través del promedio de ganancia diaria o incremento de peso diario, con estos parámetros puede calcularse la eficiencia alimenticia que es un objetivo de producción y de rentabilidad de la empresa. La productividad y rentabilidad de la empresa no deben minimizar el impacto de manejos nutricionales y alimenticios sobre la eliminación de compuestos que se desechan del animal principalmente a través de gases, heces y orina que contaminan el medio por su acumulación en el suelo, agua y aire ó contribuyendo al calentamiento global (Arriaga et al., 2009). La engorda de ganado de carne en corral requiere del entendimiento del crecimiento y desarrollo que son procesos fundamentales que a través de la nutrición y alimentación se logran, desafortunadamente prácticas profesionales provocan la eliminación de ciertos compuestos como el N y metano que contribuyen al calentamiento global. Considerando lo anterior el presente trabajo tuvo como objetivo revisar los conceptos que describen el crecimiento y desarrollo, las prácticas nutricionales y alimenticias que contribuyen a esos procesos, y los factores alimenticios que contribuyan a la reducción de la eliminación de compuestos químicos al ambiente.

## Resumen

En el presente trabajo trataremos los procesos que involucran el crecimiento y desarrollo de los animales, así como su importancia. Por otro lado describiremos los aspectos nutricionales y alimenticios que son necesarios para que para cubrir los requerimientos de mantenimiento, ganancia de peso y cumplimiento de los parámetros reproductivos de los animales. Como objetivo principal se tratarán los factores de alimentación que nos ayudarán a minimizar la eliminación de compuestos químicos, como el nitrógeno y el metano, los cuales contribuyen al calentamiento global.

**Palabras clave:** Crecimiento, desarrollo, dieta, nitrógeno, metano.

## Revisión de Literatura

### Crecimiento y desarrollo

El crecimiento y el desarrollo son procesos fundamentales en todas las criaturas vivientes, el crecimiento es definido como la expansión general y normal del tamaño y la acumulación de tejido. En los animales el proceso de crecimiento es acompañado por cualquiera de los siguientes procesos celulares: hipertrofia, hiperplasia o acumulación de tejido. La hipertrofia es el proceso mediante el cual la célula aumenta de tamaño. Alternativamente, el crecimiento puede ocurrir a través de la adición de más células o hiperplasia. Y finalmente las células pueden contribuir en el crecimiento general del organismo por medio de la acumulación de material entre células. Es importante definir la diferencia entre el crecimiento verdadero, que resulta de un incremento de la cantidad de músculo y hueso y el cebamiento que es la acumulación de grasa. Conforme el crecimiento se lleva a cabo hay cambios celulares individuales que le permiten a los tejidos y órganos asumir funciones diferentes y más complejas, a estos cambios colectivos se le denomina desarrollo (Gerrard y Grant, 2003). Una razón fundamental para estudiar el crecimiento y desarrollo es entender los procesos relacionados al crecimiento animal y una de las medidas más útiles para medir el rendimiento animal es el *promedio de ganancia diaria o el incremento de peso diario*, estos parámetros son reflejos de su habilidad para crecer, lo cual ha cambiado en las últimas décadas (cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación del rendimiento de becerros al mercado

	1950	2003
Peso mercado (kg)	386-500	500-591
Promedio de ganancia diaria (kg)	0.81-1.136	1.136-1-6
Conversión alimenticia	8.5 -10.5	6.0-8.5
Grosor de grasa (pulgadas)	0.6 - 1.0	0.3-0.6
Área muscular de lomo (pulgadas cuadradas)	8-10	11-14
Meses para el mercado	24-36	14-24

Adaptado de Gerard y Grant 2003)

Uno de los requisitos para el crecimiento y desarrollo de un organismo es el incremento de sus células por medio de la mitosis o división celular pero en el contexto

del crecimiento el proceso del incremento del número de células la replicación o proliferación, no es una generación simple de dos células hijas como producto de una división, es evidente que en el crecimiento muscular está involucrada la presencia de un precursor de células musculares. A continuación se describe el proceso de crecimiento muscular antes y después del nacimiento.

En la figura 1, se describen las etapas pre, peri y postnatal en las que se desarrollan las células musculares, se observa que del tallo mesodérmico existen unas células están predeterminadas para desarrollar fibra muscular por lo que se les considera células predeterminadas o comprometidas. El evento que dispara la determinación es la expresión de uno o más genes referidos como genes reguladores de músculo (MRF, por sus siglas en inglés), la expresión de los MRF se considera como el punto de partida en la miogénesis (Gerrard y Grant, 2003).

Aunque las células determinadas o mioblastos expresan genes reguladores del crecimiento del músculo, ellas están en proliferación o sea, están generando mioblastos adicionales. Los mioblastos, sin embargo, no se contraen porque no contienen proteínas contráctiles o no tienen el nivel de especialización deseado donde la contracción es posible. Posteriormente esas células reciben señales pertinentes que las inducen a la diferenciación y fusión, por lo que se detiene el crecimiento, y las células se alinean una con otra. La diferenciación de los mioblastos a miofibras se ha estudiado ampliamente en cultivos celulares (Scarpa et al., 1984).

Además las membranas celulares empiezan a fusionarse (figura 2) para formar una fibra muscular inmadura, llamada miotubo, con lo que inicia la regulación de genes específicos del músculo como son: quinina creatinasa muscular, subunidades receptoras de acetilcolina, miosina y actina; los miotubos pueden ser primarios y secundarios.

Una vez que el mioblasto se diferencia y fusiona para formar miotubos, las células resultantes continúan su jornada hacia estructuras de complejidad más alta (figuras 3 y 4), lo cual es denominado maduración, lo cual da origen a las fibras musculares y a las células satélite adultas.

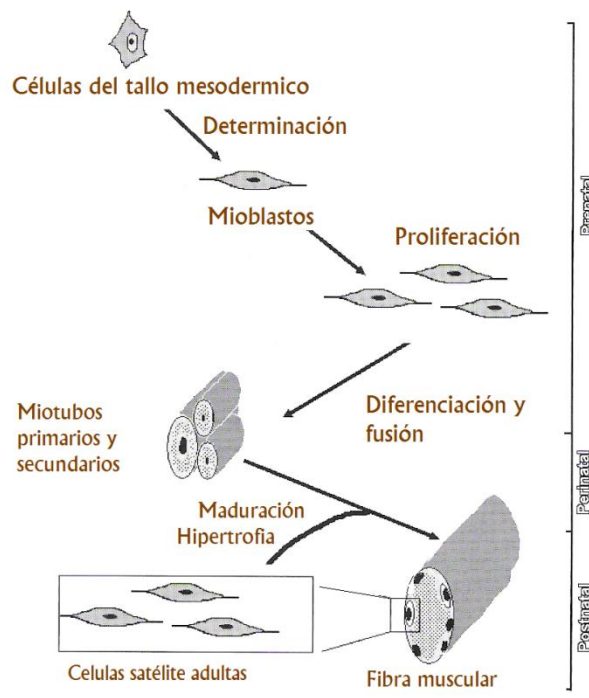


Figura 1. Eventos principales durante la miogénesis (adaptado de Gerard y Grant 2003).

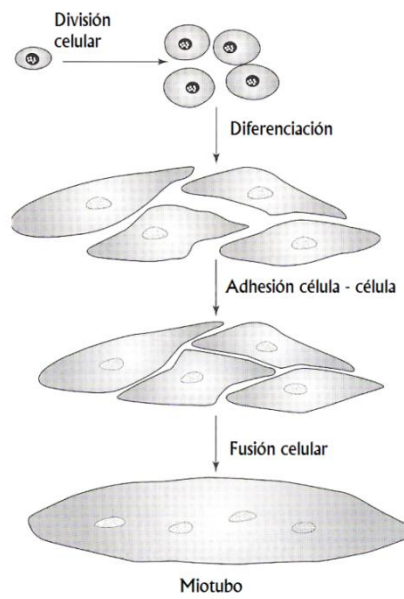


Figura 2. Proceso de fusión del miotubo (adaptado de Gerard y Grant 2003).

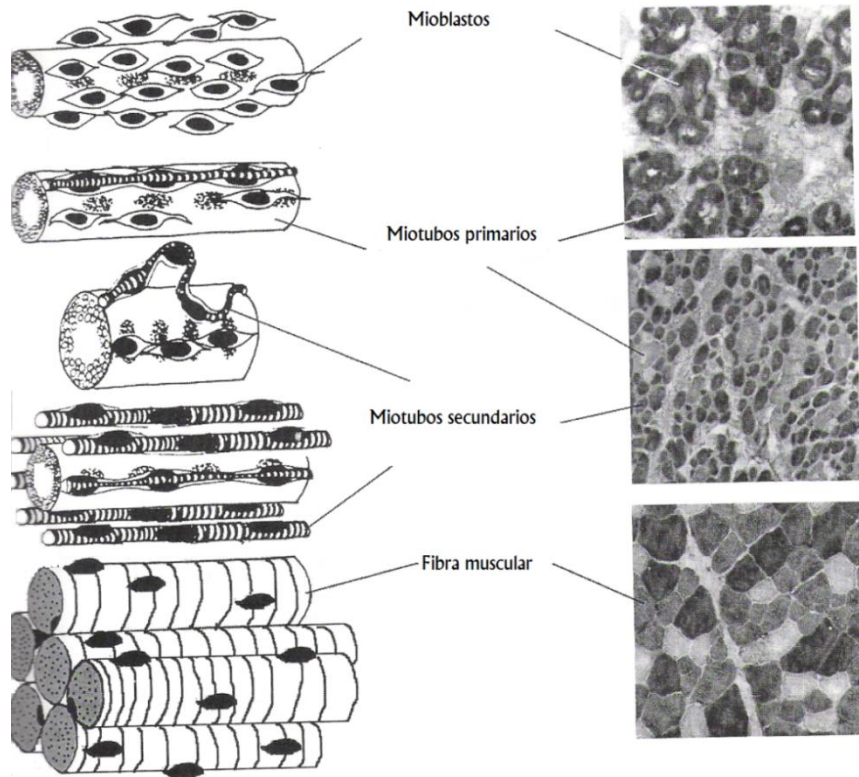


Figura 3. Desarrollo embrionario y fetal de las fibras musculares (adaptado de Gerard y Grant 2003).

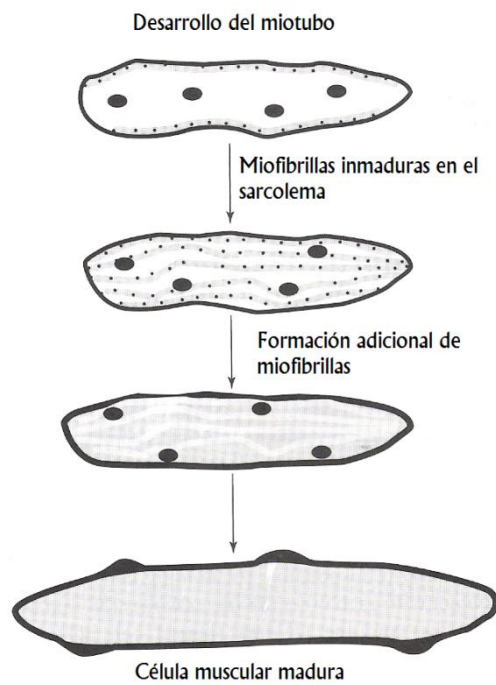


Figura 4. Formación de miofibrillas y su alineación durante la miofibrillogénesis (aadaptado de Gerard y Grant 2003).

En resumen, la determinación de las células precursoras (mioblastos), la proliferación o división celular y la diferenciación a células miofibras multinucleadas es un proceso exclusivamente prenatal que toma lugar dos veces en la primera y segunda formación de fibra muscular, a las que juntas se les conoce como miogénesis. El crecimiento postnatal del tejido muscular se caracteriza por crecimiento hipertrófico de las miofibras sin la formación de nuevas de ellas. La miogénesis y el crecimiento muscular postnatal son mediados por MRF (Marinus, 2003).

El crecimiento muscular se relaciona con un incremento en el número de células o el tamaño de la fibra muscular presentes en el músculo (Gerrard y Grant, 2003). Dentro de los factores que aumentan el número de fibras musculares (hiperplasia) se encuentran los siguientes:

- La variación animal.
- La nutrición que sólo afecta el número de fibras en el desarrollo prenatal,
- La edad, el número de fibras musculares se fija al nacimiento.
- Raza y selección genética ya que las razas que ganan más peso tienen más fibra muscular que las que ganan menos peso corporal. El mejoramiento ha permitido un incremento en el número de fibras musculares.
- Sexo ya que al nacimiento los machos tienen mayor número de fibras musculares que las hembras.

Por otra parte, el tamaño de la fibra muscular incrementa durante el último tercio del desarrollo fetal y continúa durante la fase postnatal del crecimiento. Las miofibrillas existentes pueden dividirse longitudinalmente para formar miofibrillas nuevas, que pueden subsecuentemente ampliarse a través de la adición de miofilamentos. El trabajo o el ejercicio es el principal estímulo para el incremento radial del crecimiento de las fibras musculares por división. Por lo tanto el crecimiento resultante de ese estímulo se conoce como hipertrofia inducida por trabajo o ejercicio. El mecanismo que permite al músculo, a las células musculares individuales y a las miofibrillas incrementar en longitud se denomina adición sarcomera.

Sin embargo, el crecimiento longitudinal y radial de las miofibrillas requiere de cantidades significantes de proteína sintetizada. La síntesis de proteína se refiere al proceso mediante el cual las células ensamblan aminoácidos a proteínas.

La degradación o rompimiento proteico es la proteólisis a polipéptidos y aminoácidos, y es llevada a cabo por varias proteasas dentro de las células. La acumulación o deposición de proteína neta es la diferencia entre la cantidad de proteína degradada y sintetizada. Dentro de los factores que afectan el tamaño de la fibra muscular se encuentran los siguientes:

- Sexo, ya que es probable que por la testosterona mejore la acumulación de proteína en machos.
- La nutrición afecta el tamaño del músculo, ya que éste aumenta más cuando los cerdos (25 a 55 kg) se alimentan a libre acceso para una ganancia ilimitada, que cuando se alimentan para ganancias de 1.64 a 1.38 kg por día (Solomon et al., 1988). Además se puede presentar una reducción en el tamaño del músculo si se administra cantidades menores al requerimiento de proteína (Solomon et al., 1994).
- Edad, el tamaño de la fibra muscular tiende a disminuir con la edad.
- Promotores del crecimiento como los beta agonistas adrenérgicos (cimaterol, isoproterenol y ractopamina) agregados a las dietas de crecimiento incrementan el tamaño de la fibra muscular (Aalhus et al., 1992; Gwartney et al., 1992; Vestergaard et al., 1994).

## **Crecimiento de tejido adiposo**

El desarrollo de tejido adiposo se presenta en sitios específicos del cuerpo, que están formados por la acumulación de adipocitos que a su vez están llenas de triglicéridos. Dentro de esos depósitos se encuentran las grasas de las vísceras y en ellas destacan las grasas mesentéricas, la grasa peri renal y las grasas que se encuentran entre la cavidad torácica y las costillas. Otro reservorio de grasa se encuentra en forma subcutánea y generalmente se dividen en tres capas: externa, media e interna. La grasa intermuscular es el tercer depósito graso, aunque en algunas



especies la grasa subcutánea se intercambia por ésta. Por último, se encuentra la grasa intramuscular que constituye el depósito menor de grasa de la canal.

Las células del mesénquima asociadas con el tejido conectivo dan lugar al adipocito que son las formas tempranas del desarrollo del tejido adiposo y en esta etapa se presenta un incremento en la vascularización del tejido conectivo. Esta vascularización continúa a medida que el adipocito madura y puede estar asociada con una red capilar extensa. A medida que la adipogénesis avanza, las células de los lóbulos siguen proliferando para proporcionar células adicionales. En respuesta a una gran variedad de señales, los adipoblastos suspenden la réplica y proceden a diferenciarse a preadipositos, posteriormente forman un glóbulo o adipocito maduro (figura 5). Morfológicamente los adipocitos son < de 20  $\mu\text{m}$  de diámetro, mientras que en animales muy obesos miden > de 120  $\mu\text{m}$ . La hiperplasia del tejido graso ocurre en la vida prenatal, pero hay hiperplasia del adipoblasto en el período perinatal, pero la proliferación cesa una vez que se diferencia en un adipoblasto. Sin embargo está claro que el incremento de la masa de tejido adiposo durante el crecimiento del animal es el resultado del incremento del número de adipocitos y del aumento del tamaño del mismo.

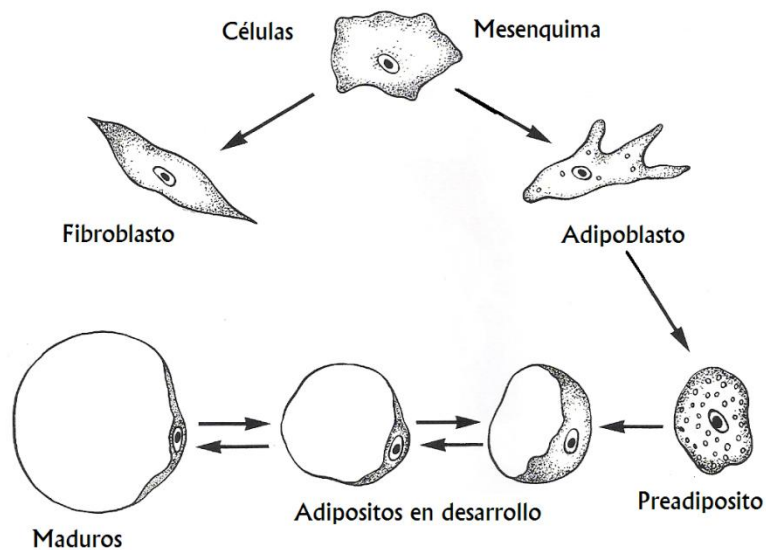


Figura 5.- Desarrollo de adipocitos (adaptado de Gerard y Grant 2003).

## **Crecimiento, alimentación y ambiente**

La producción de músculo o carne a partir de bovinos requiere de programas de alimentación que satisfagan las necesidades de mantenimiento y de producción de esos animales, para ello deben de considerarse una gama amplia de nutrimentos como nitrógeno, carbohidratos minerales y vitaminas, que en su conjunto determinan las composición química de una ración (NRC, 2000) de la cual se establece el valor nutricional de la ración (Van Soest, 1994).

En la Región Lagunera, ubicada en la parte norte este del estado de Durango y suroeste de Coahuila, para lograr el crecimiento y la engorda de los novillos y vaquillas para satisfacer los requerimientos del ganado productor de carne se utiliza mayoritariamente las tablas publicadas por el NRC, de las cuales la última versión es la de 2000. En esa publicación se establecen los requerimientos para la fracción nitrogenada de la dieta en términos de proteína metabolizable, energía neta de mantenimiento, calcio y fósforo. Sin embargo, algunos investigadores y nutriólogos continúan usando la proteína cruda y la energía metabolizable.

Entre las principales fuente de energía están el maíz y sorgo, desperdicios de panadería y dulces, melaza. Cabe señalar que entre los procesamientos a los granos más utilizados son el molido, quebrado y rolado. El procesamiento de los granos debe encaminarse a mejorar la disponibilidad del almidón y esta puede medirse por los siguientes métodos: enzimático, producción de gas y gelatinización (Vasconcelos y Galyean, 2007).

Para proporcionar nitrógeno se usa pollinaza, grano seco de destilería, malta húmeda y algunas oleaginosas como la harinolina, así como nitrógeno no proteico, como urea. Los forrajes más utilizados son la alfalfa en recepción y ensilaje de sorgo, hueso de algodón en finalización.

La engorda de las vacas se divide en dos o más etapas, que están en función del peso de recepción y salida del animal para su sacrificio y comercialización y la relación forraje a concentrado que se usa es dependiente de la etapa de engorda, pero en la

fase de recepción generalmente es de 90 a 100% pero en la fase de finalización la relación cambia a 15 por 85%.

La falta de adecuación de la composición química de la ración o un manejo alimenticio inadecuado puede tener impacto sobre el medio ambiente (MA) ya que esos elementos pueden eliminarse del animal principalmente por gases, heces, y orina.

Existe un incremento en el interés en el impacto que los sistemas de producción animal tienen sobre el MA, especialmente en países o regiones con una población animal densa. El interés en el MA puede ser dividido en tres categorías: las relacionadas con el suelo (acumulación de nutrimentos), el agua y el aire (calentamiento global y olores) (Jongbloed y Lenis, 1998). Según estos autores, la contaminación mayor del medio puede ser por N, P, Cu y Z

En general, los contaminantes del aire de más importancia a las operaciones ganaderas incluyen el amoníaco, sulfuro de hidrógeno, partículas de materia, compuestos orgánicos volátiles, gases de calentamiento global (metano, óxido nitroso y bióxido de carbono) y olores (Cole et al., 2008).

Para Van Horn et al. (1996) la contaminación del MA por algunos nutrimentos en la excreta puede ser debido a tres factores: 1) exceso del nutrimento en la ración, 2) disponibilidad del nutrimento en la ración 3) presencia de elementos que interfieran en la absorción del nutrimento.

## **Contaminación por N**

Power et al. (1994) estimaron que aproximadamente el 50% del N depositado en los corrales de engorda puede ser perdido como amoníaco, ellos estimaron que un lote de 50,000 cabezas puede liberar 10,000 kg de  $\text{NH}_3\text{N}$  a la atmósfera, esto es cuando en verano hay condiciones favorables para la volatilización. Para Cole et al. (2008) la concentración de amoníaco atmosférico en la operación de alimentación animal puede variar desde  $< 1$  ppm (corrales de engorda y granjas de vacas productoras de leche) hasta  $> 10$  ppm (aves y cerdos). Además, en su forma gaseosa el amoníaco atmosférico puede viajar de las zonas rurales a las áreas urbanas y neutralizar gases, tal como, los sulfatos y nitratos (producto de la combustión de combustibles fósiles) en

la atmósfera a partículas de gas pequeñas ( $PM_{2.5}$ ) que pueden poseer riesgos potenciales para la salud de algunos individuos.

La urea o ácido úrico, en las aves, contribuyen con el 40 ó 50% del N excretado en las heces (estiércol y orina mezclados), además otros constituyentes orgánicos en las heces, como las proteínas, se desaminan con la consecuente formación de amoníaco. El nitrógeno se considera el elemento más crítico que se encuentra en las excretas y que se incorpora a la atmósfera a través de la volatilización del amoníaco. La volatilidad del amoníaco a partir de las superficies, depende de la temperatura, contenido de humedad, pH, movimientos del aire y otros factores y debido a la volatilidad del amoníaco, las pérdidas del N en las heces son usualmente mucho mayores que las de otros nutrimentos (Van Horn et al., 1996).

Según la legislación holandesa, un criterio formulado para el N establece que la concentración de nitrato en la tierra y en agua de superficie no debería exceder 50 y 10 mg/l, respectivamente. Además, el agua de superficie no debe de contener más de 0.2 mg de  $NH_3$  N por litro. Por consiguiente en Holanda se propusieron que las emisiones de  $NH_3$  deberían reducirse al 50% en el año 2000 con respecto a 1980 (Jongbloed y Lenis, 1998).

Las emisiones de amoníaco derivadas de las operaciones de alimentación animal pueden ser afectadas por diversos factores que incluyen a la dieta ( cantidad y degradabilidad de proteína, degradabilidad de carbohidratos, equilibrio ácido base), superficie del corral, clima, tasa de ventilación, método de almacenamiento del excremento y edad del animal (Cole et al., 2008).

## **Contaminación por P**

Las actividades ganaderas contribuyen a la contaminación ambiental a través de los excedentes de N y P que esos animales producen (Arriaga et al., 2009). Con respecto al P la tierra y el agua de superficie no deben e exceder de 0.1 mg de ortho-P por litro (Van Horn et al., 1996).

## Contaminación por metano

La producción de metano en el rumen representa una pérdida de energía para el animal huésped, estimándose que el ganado pierde aproximadamente un 6 a 8% de la energía consumida (Johnson y Johnson, 1995) y además este gas eructado por los rumiantes puede contribuir con el calentamiento global, se estima que estos animales contribuyen con 15 al 20% de la producción global de CH<sub>4</sub> (Asunama et al., 1999).

Existen tres grupos de bacterias que contribuyen al reciclamiento del H<sub>2</sub> en el rumen y tracto digestivo posterior, siendo ellos: 1) archaea metanogénica que usa el H<sub>2</sub> para reducir el CO<sub>2</sub> a metano, 2) bacterias reductoras de sulfato que producen sulfides y 3) las bacterias que usan H<sub>2</sub> para reducir CO<sub>2</sub> y formar acetato. En el rumen el hidrógeno es usado principalmente para producir metano pero la acetogénesis es una ruta alternativa a la formación de ese gas. Dentro del rumen algunas especies bacterianas celulíticas (*Ruminococcus albus* y *R. Flavofaciens*) y todas las especies de hongos anaeróbicos son capaces de producir el hidrógeno durante la fermentación de la celulosa y hemicelulosa. El conocimiento del metabolismo de la acetogénesis en el tracto digestivo de mamíferos herbívoros representa un medio para manipular la fermentación ruminal y disminuir la producción de metano (Morvan et al., 1996).

Las bacterias metano génicas que viven en la superficie y dentro de los protozoarios del rumen son las responsables de más del 37% de las emisiones generadas en ese órgano. En ausencia de esos protozoarios las emisiones de ese gas disminuyen en un promedio de 13%, lo cual varía según la dieta (Hegarty, 1999).

Los microorganismos formadores de metano identificados que habitan en el rumen pertenecen a los géneros siguientes: *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *methanomicrobium* y *methanosarcina*, todos ellos usan H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> para formar CH<sub>4</sub> y algunos usan compuestos tales como formato o acetato para obtener hidrógeno (Baker, 1995).

Este autor opina que las bacterias metano génicas establecen relaciones sinérgicas con protozoarios ruminales, por lo que la eliminación de esos microorganismos se acompaña de la disminución de esas bacterias, aunque esa influencia depende de la estrategia alimenticia.

Según Hegarty (1999), la eliminación de protozoarios evita el descenso del suministro de proteína disponible para el rumiante, por lo tanto su eliminación contribuye tanto como para elevar el suministro proteico para el huésped, para reducir las emisiones de gas que contribuyen con el calentamiento global y para aumentar la productividad del ganado rumiante.

### **Manipulación dietética para reducir la excreción del nitrógeno**

La optimización del manejo y la alimentación son elementos estratégicos para disminuir la excreción de N y P en las excretas, lo cual se puede lograr mediante la igualación entre la ingesta y los requerimientos de esos elementos y el aumento de la productividad (Arriaga et al., 2009).

La proteína generalmente se refiere a la proteína cruda, la cual se define como el contenido de N \* 6.25, este factor asume que hay 16 g de N/100 g de proteína en los alimentos. Pero la proteínas verdaderas están compuestas por aminoácidos que son requeridas para el mantenimiento, crecimiento y producción de los animales (NRC, 1994, 1998, 2001). Sin embargo satisfacer los requerimientos de aminoácidos en las raciones es muy complejo y es prácticamente imposible proporcionar la cantidad de cada aminoácido requerido en alguna etapa productiva, pero mejorando el manejo alimenticio es posible aproximarse a esta meta.

En los rumiantes, el proceso digestivo incluye la fermentación de las proteínas en el rumen. La proteína degradable en rumen incluye una mezcla de aminoácidos, aminoácidos libres y amoníaco para el crecimiento microbiano y la síntesis de proteína (Van Soest, 1994). La proteína microbiana sintetizada en el rumen proporciona la mayoría de los aminoácidos que ingresan al intestino delgado. La proteína no degradable en rumen proporciona la segunda fuente de aminoácidos que son absorbidos en el intestino delgado. Por lo tanto la tasa de degradación de las proteínas es muy importante en el suministro correcto de la cantidad y tipo de aminoácidos.

De acuerdo a la tasa de degradación la proteína cruda puede ser dividida en cinco fracciones (A, B1, B2, B3 Y C); la fracción A incluye N no proteico y está disponible inmediatamente para su degradación ruminal, mientras que la fracción C es considerada indisponible o no degradable. El resto de la fracción B son proteínas verdaderas degradables en rumen, por lo tanto la proteína degradable incluye la fracción A y parte de la fracción B y la no degradable incluye el resto de los componentes B y completamente la fracción C (NRC, 2001).

En el caso del ganado bovino productor de carne, los requerimientos pueden expresarse en forma de proteína metabolizable (PM), este concepto incluye dos componentes que son la síntesis de proteína bacteriana cruda (PBC) y la cantidad de proteína no degradable en rumen (PND), ambos contribuyen a la disponibilidad de aminoácidos absorbibles en intestino delgado. En el caso de la síntesis de PBC existen muchos factores que afectan la eficacia, comparado con el amoníaco, los péptidos y aminoácidos ruminales pueden incrementar la cantidad de PBC sintetizada. Además el tipo de carbohidratos (estructurales vs no estructurales) puede afectar los requerimientos de mantenimiento microbiano ya que tienen tasas de fermentación y de pasaje diferentes (NRC, 2000).

La meta en la alimentación de los animales rumiantes, como es el caso del ganado bovino productor de carne, es suministrar la cantidad adecuada de proteína para un balance en las tasas de degradación que proporcionen las necesidades de aminoácidos al intestino.

El requerimiento de proteína degradable en rumen (incluido el NNP) se considera igual a la síntesis de PBC, por lo tanto el balance debe considerar que una deficiencia de N amoniacal no sea satisfecha por el reciclamiento de urea salival, ni que un exceso de amoníaco sea absorbido en el rumen, ya que el sobrante de este compuesto podría ser transformado en el hígado a urea y eliminado en orina. Por otra parte, un exceso PM en intestino ya sea por aumento de la PBC o por el incremento de la proteína no degradable en rumen, ocasionará elevación de la disponibilidad de aminoácidos para su absorción, lo cual podría ocasionar que ese exceso de aminoácidos, en relación al requerimiento, sean desaminados y el N también sea transformado a urea en hígado.

En ambos casos ese exceso de urea urinaria contribuye a la deposición de N en el MA por lo que a través de estrategias alimenticias lo anterior podría reducirse o evitarse. Además este exceso de N requiere energía para su degradación y en su caso, eliminación lo cual reduce el rendimiento animal.

Una estrategia para un uso óptimo de proteína degradada en rumen (incluyendo el NNP) podría ocurrir si la degradación de las fuentes de N (proteico y no proteico) y las fuentes de carbohidratos ocurrieran simultáneamente, ya que la a sincronía de la digestión de las fuentes de N y la digestión de la energía ocasiona que se libere rápidamente un exceso de N y el exceso de amoníaco no se utilizará adecuadamente (Chizzotti et al., 2008). Desafortunadamente este puede ser el caso en muchas dietas, ya que la degradación de las proteínas de muchos forrajes, por ejemplo, es rápida y la liberación de energía de los componentes de la FDN es mucho más lenta, por tal razón el tipo y cantidad de forraje puede afectar el consumo de proteína y excreción de N en el ganado, de tal forma que el heno y el ensilaje de alfalfa tienen contenidos altos de PC y aproximadamente el 80% de ella es degradada por lo cual los microorganismos utilizan muy pobremente ese N, por lo que ocurre un exceso de absorción de amoníaco y una eventual excreción como N urinario que contamina el medio ambiente (Getachew et al., 2006). Por otra parte el ensilaje de maíz tiene muy poca proteína y su degradabilidad es más baja (NRC, 2000).

El uso de forrajes y niveles correctos de NNP requeridos para un uso óptimo del N por los microbios puede permitir un rendimiento adecuado y por ende mejorar la eficiencia alimenticia, reduciendo costos y disminuir las pérdidas de N al MA. Considerando la degradabilidad baja del ensilaje de maíz, Chizzotti et al. (2008) evaluaron la cantidad de urea requerida en la dieta para mejorar la fermentación ruminal, suministro de proteína microbiana y el rendimiento animal, para ello agregaron NNP (urea + sulfato de amonio) a dietas basadas en ensilaje de maíz (70% MS), los resultados les permiten concluir que es posible mejorar esos parámetros con el suministro del 46.5% de N en forma de NNP y que es posible reemplazar la harinolina con urea y obtener ganancias en animales criollos hasta de 1 kg/d.



En los últimos años se han hecho estudios en el ganado de carne y los cambios al metabolismo de la urea en respuesta a la especie del forraje, composición del forraje o suministro de suplementos energéticos, que confirman que una coordinación entre la fermentación de carbohidratos y las fuentes de N hacen más eficiente la transformación del N dietético a proteína tisular (Archibeque et al., 2001; Huntington et al., 2009).

Otra posibilidad para controlar que se arroje N al MA es explorar la combinación de forrajes con subproductos agroindustriales. En algunas regiones de México y USA, la pulpa de cítricos es un recurso alimenticio de bajo costo, y su valor nutritivo depende de la forma física (húmedo, seco, ensilado, peleteado, etc.), condiciones de crecimiento y método de procesamiento los cuales determinan la cantidad bagazo, corteza y de semilla en la mezcla. Considerando lo anterior Kim et al (2007) usaron diferentes niveles de pulpa cítrica en dietas con urea, harina de soya y soya de paso para evaluar el efecto sobre el  $\text{NH}_3\text{-N}$  (mg/dL), encontrando que la concentración fue de 12.4, 23.6, 21.3 y 19.6 respectivamente para el grupo control, urea, harina de soya y soya de paso. La cantidad de N ureico en plasma fue de 7.5 mg/mL con la combinación de pulpa cítrica y urea lo cual es menor a lo encontrado con los tratamientos que incluyen soya; sin embargo el rendimiento productivo fue mejor para los animales que recibieron soya en sus raciones.

En cambio con los granos (por ejemplo maíz y sorgo) ocurre lo contrario –que con los forrajes- ya que la proteína se degrada lentamente y la degradación del almidón es más rápida. Esto resulta en niveles bajos de amoníaco con dietas altas en granos y niveles altos en dietas a partir de forrajes, lo cual es influenciado por los niveles de proteína de la ración (NRC, 2000). Por lo tanto los requerimientos de proteína degradable deberán ser mayores cuando se administren dietas altas en granos en los cuales el almidón haya sido extensamente procesado como es el caso de los granos cocidos al vapor (Gleghorn et al., 2004).

Gleghorn et al. (2004) evaluaron el efecto de la concentración y degradabilidad de la proteína sobre el rendimiento, características de la canal y las concentraciones séricas de nitrógeno en novillos en finalización que fueron alimentados a base de maíz cocido al vapor y con concentraciones de 11.5, 13 o 14.5% de PC y tres mezclas de fuentes de PC que fueron: 100% urea; una mezcla de 50%, urea y 50% harinolina ó 100% harinolina. Los resultados indicaron que incrementando la cantidad de PC de 11.5 a 13 mejoró la ganancia de peso, y por encima de este nivel disminuyó la GPD. Las concentraciones de N ureico en el suero incrementaron con las concentraciones de PC, más que con la fuente de PC, además cuando se usa maíz cocido al vapor la concentración óptima de PC es 13% en la dieta. El suministro de urea parece ser más benéfico para algunas características de la canal que cuando se usa semilla de algodón.

Por su parte Vasconcelos et al. (2009) evaluaron el efecto de tres concentraciones dietéticas de PC (11.5, 13 y 14.5% de la MS) y tres concentraciones de urea (100, 50 y 0% del suplemento de N) sobre la utilización de N y fósforo en tres etapas alimenticias de novillos alimentados con maíz rolado, los resultados demostraron que hay diferencias en la utilización del N en las diferentes etapas de la engorda y que el tipo de procesamiento del grano afecta la utilización del N, y explican lo anterior en función de la fermentabilidad del almidón en los granos. También concluyen que el requerimiento de PC que permite una mejor rendimiento y una retención máxima de N está entre 11.65 y 12.95%; además el incremento de la proporción del suplemento de PC con urea disminuye el consumo de P lo que resulta en una menor excreción de ese mineral y de N al MA.

En el caso de los animales no rumiantes (cerdos y aves) el nivel de proteína cruda requerida puede ser reducida (uno a dos puntos sin afectar el rendimiento) a través de la suplementación de aminoácidos sintéticos, con lo que se reduce la excreción de N y con ello la contaminación del MA (Jongbloed et al., 1997; Sutton et al., 1999; Nahm, 2002).

En el caso de los animales rumiantes aún no es posible aplicar la tecnología anterior, porque el uso de aminoácidos sintéticos aportaría otra fuente de N para los

microorganismos, por tal razón tanto en ganado bovino productor de carne y leche, se ha estado investigando el efecto de adicionar aminoácidos protegidos (lisina y metionina) sobre la eficiencia alimenticia y sobre la reducción de N excretado al MA, sin embargo esta tecnología aún debe estudiarse más y reducir sus costos para que pueda introducirse en el mercado (Sun et al., 2007).

Waterman et al. (2007) consideran que la proteína metabolizable puede limitar la acumulación de proteína en vacas gestantes que consumen forrajes pobres en PC (7%) y que la combinación de proteína no degradable y la microbiana no podrían eliminar deficiencias específicas de aminoácidos si la proteína no degradable es deficiente en el primer aminoácido deficiente, por consiguiente mejorando el suministro postruminal del aminoácido deficiente podría ayudar a mejorar la eficiencia del uso del N tanto para el metabolismo corporal como para el desarrollo del feto. Por ello usaron una combinación de urea más DL-metionina en vacas gestantes y concluyeron que complementando al forraje de mala calidad con la combinación de urea y 5 g/d de metionina protegida podría mejorar la retención de N y promover la acumulación de proteína durante la última fase de gestación.

Schroeder et al. (2006a) opinan que el suministro inadecuado de energía puede limitar la eficiencia del uso de aminoácidos y por lo tanto la acumulación de proteína en novillos en crecimiento, por lo que estudiaron el efecto de varios niveles de energía con dos niveles de metionina (administrada en abomaso) encontrando que la retención del N fue mejorada con la suplementación de energía aún y cuando la metionina limitó la deposición de proteína, lo cual es independiente de la fuente de energía utilizada (Schroeder et al., 2006b).

Considerando lo anterior Archibeque et al. (2002) utilizaron metionina protegida de la degradación ruminal para evaluar su efecto sobre el metabolismo de nitrógeno en novillos alimentados con forraje de verano concluyendo, que ese aminoácido provocó la satisfacción de una limitante dietética y mejoró la retención de N corporal aunque la respuesta a la metionina protegida depende del nivel de energía de la ración.

Tomando en cuenta el papel de la metionina en el metabolismo de los aminoácidos en no rumiantes expuestos a infección y a que este aminoácido es el primer limitante en becerros en crecimiento alimentados con dietas con poca proteína

no degradable, Waggoner et al. (2009) evaluaron el efecto de la adición de metionina protegida sobre el balance de N de becerros en crecimiento expuestos a lipopolisacáridos de bacterias gram negativas, ellos concluyen que este aminoácido no disminuyó los efectos de los lipopolisacáridos, ni mejoró la utilización del N en esos becerros.

La manipulación de la ración también puede afectar la proporción de N excretado en heces y en orina. El ganado de engorda en corral alimentado con 7.5% de forraje tuvo el 7% más de N excretado en las heces y la alimentación con gluten de maíz húmedo arrojó el 12% más del N total en las heces (Bierman et al., 1999).

La modificación de las raciones por medio de la disminución de la PC mientras se mantengan los niveles de rendimiento de los animales de engorda puede ser una forma práctica de reducir las salidas de N al MA. La disminución de la cantidad de PC al mismo tiempo que se incrementa la cantidad de alimento en la fase de finalización de la engorda de vacas podría disminuir la excreción de nitrógeno al MA sin reducir el rendimiento animal (Vasconcelos et al., 2006).

La oscilación de la cantidad de PC durante períodos de tiempo determinados (9 y 14.9% en períodos oscilantes de 48 H) ha demostrado que no altera el rendimiento de animales en finalización y aumentan la presencia de olores asociados al mal olor de desechos (Archibeque et al., 2007b) pero mejoran la retención de N de los animales en finalización (Archibeque et al., 2007a) comparados con animales que recibieron ya sea niveles bajo o altos de PC donde esos cambios dietéticos aumentaron la volatilización de amoníaco de la heces, de tal forma que la oscilación de la cantidad de PC puede reducir esas emisiones sin perjudica la eficiencia de los animales en engorda.

Khon et al. (2005) proponen un método para usar la concentración de urea en la sangre para predecir las concentraciones de excreción de N. La concentración objetivo de urea en sangre puede ser calculada en diferentes especies con tasas de producción específica.

## Manipulación dietética para reducir la excreción de metano

El compuesto ideal es aquel que sea efectivo en la reducción de la producción de CH<sub>4</sub>, con incrementos asociados en la producción de ácido propiónico y en la cantidad de proteína microbiana suministrada a través de la fermentación ruminal (Baker, 1995) y sin deprimir la digestión de la fibra .

Hegarty (1999) establece que las estrategias para eliminar a los protozoarios del rumen para reducir las emisiones de metano incluyen las siguientes: 1) manipulación dietética, 2) uso de químicos sintéticos, 3) uso de compuestos naturales, 4) uso de agentes biológicos. La disminución de las emisiones de metano a partir del descenso de protozoarios en el rumen puede ser consecuencia de: 1) reducción de la digestión ruminal de la MS; 2) disminución de la población de bacterias formadoras de metano; 3) por la alteración del padrón de producción de AGV y la disponibilidad de hidrógeno; 4) incremento en la presión parcial de oxígeno.

Las emisiones de metano pueden ser reducidas por la administración de ciertos aditivos e ingredientes. Una estrategia para disminuir la formación de metano ruminal ha sido el uso de ácidos orgánicos que son intermediarios en la fermentación ruminal y son aceptores de electrones alternativos a la metano génesis. Teóricamente, la formación de metano puede ser reducida por la reducción en la producción de H<sub>2</sub> y formato, que son los substratos principales para la formación de CH<sub>4</sub>.

Asanuma et al. (1999) determinaron el efecto de la adición de fumarato sobre la producción *In vitro* de metano por microorganismos ruminales y descubrieron que *Selenoma ruminantum* subsp *lactilytica* metaboliza el fumarato a propionato con poca acumulación de succinato, por lo que esta bacteria puede ser considerada como un aditivo microbiano con potencial para mejorar la conversión del formato para convertirlo a propionato. Además el uso del fumarato y malato como aditivos alimenticios pueden reducir la metano génesis e incrementar la producción de propionato en el rumen.

Ungerfeld et al. (2007) encontraron una relación lineal entre el descenso de CH<sub>4</sub> y el aumento de la concentración de fumarato en cultivos, aunque no hubo correlación entre la cantidad de fumarato y el aumento de ácido propiónico, lo cual puede

explicarse por la utilización incompleta del fumarato, por lo tanto, la adaptación de los microorganismos a este ácido orgánico es un factor de importancia.

Por esto, una estrategia podría ser la adición de microorganismos capaces de convertir fumarato a propionato.

La adición de grasas a la dieta puede reducir las emisiones de metano por la disminución de la fermentabilidad ruminal y en un menor grado por la hidrogenación de las grasas insaturadas, inhibición de protozoarios y mejoramiento de la producción de ácido propiónico (Johnson y Johnson, 1995).

Beauchemin y McGinn (2006) determinaron el efecto de la adición de ácido fumárico (175 g/d) con bicarbonato de sodio (75 g/d), aceites esenciales (1 g/d) y aceite de canola (4.6% de la MS) sobre las emisiones entéricas de metano, ellos encontraron que el aceite de canola puede usarse para reducir las pérdidas por metano del ganado, pero el rendimiento de las vacas puede comprometerse debido al poco consumo y a la disminución de la digestibilidad de las grasas. Los aceites esenciales no afectaron la producción de metano, mientras que el ácido fumárico causó cambios potencialmente benéficos en la fermentación ruminal.

Por su parte Jordán et al. (2006) evaluaron el efecto de la inclusión de aceites de soya sobre el consumo, salida de metano y rendimiento de toros jóvenes, sin embargo, las reducciones entéricas de metano fueron alcanzadas con cantidades relativamente altas de aceites incluidas en sus raciones, lo que disminuyó la gustocidad de la ración lo que disminuyó el CMS y el rendimiento productivo bajo.

La administración de carbohidratos en la ración tiene efecto sobre la cantidad de metano producida, de hecho la fermentación de carbohidratos solubles son menos metanogénicos que los carbohidratos estructurales. Cuando se administran carbohidratos altamente disponibles en cantidades elevadas pero con consumo limitado de MS, se pueden presentar pérdidas altas de metano, pero al elevar consumos con dietas altamente digestibles, se presentan pérdidas de metano bajas (Johnson y Johnson, 1995).

En condiciones de producción intensiva el uso de carbohidratos no estructurales permite que se pierda el 3% de la energía bruta consumida como CH<sub>4</sub>, la alimentación de dietas altas en concentrado durante la fase de crecimiento durante la etapa de finalización disminuye las pérdidas de este gas en un 38% en el caso de dietas con cebada y un 64% en el caso del grano de maíz en comparación de dietas altas en forrajes. Así mismo, la disminución de la fase de recepción podría disminuir la contribución de gases en el efecto invernadero, además la inclusión de dietas basadas en maíz en la etapa de finalización pueden disminuir las emisiones de gases (Beauchemin y McGinn, 2005).

Sorprendentemente, la fermentación de subproductos de cervecería y destilería que contienen fibra relativamente disponible resultan en una producción baja de metano (Johnson y Johnson, 1995). Además, el valor alimenticio del grano seco de destilería es mayor que el grano rolado seco o maíz con humedad alta, sin embargo, ese valor parece ser menor cuando se suministra en dietas en finalización basadas en maíz en hojuela (con vapor) que en dietas basadas en maíz rolado (Klopfenstein et al., 2008).

Los taninos tienen efectos variables sobre los rumiantes y esos cambios dependen del tipo de planta y tipo de taninos. Las cabras en especial son relativamente menos susceptibles a factores anti nutricionales contenidos en muchas plantas, porque existen diferencias en sus proteínas salivales. El uso de taninos condensados contenidos en forrajes como *Lespedeza cuneata* ha demostrado que en cabras pueden disminuir las emisiones de metano, sin embargo estos resultados en el ganado y las borregas pueden ser diferentes a los encontrados en los caprinos (Puchala et al., 2005). Por otra parte Beauchemin et al. (2007) utilizaron una fuente concentrada de taninos condensados como una alternativa al uso de forrajes ricos en taninos para reducir la emisión de metano, los resultados reportados por ellos les permite concluir que la administración al ganado bovino del 2% de la materia seca en forma de taninos condensados, no redujo las emisiones de CH<sub>4</sub>.

Desafortunadamente los taninos tienen efectos potencialmente negativos dentro de los que se incluyen: 1) reducción del consumo de materia seca y reducción de la digestibilidad de la materia orgánica, 2) inhibición de la acción enzimática de microorganismos y del rumiante, 3) pérdidas de proteínas endógenas. Sin embargo, niveles bajos de taninos condensados (<4% de la MS) mejora la digestión de las proteínas de los alimentos de los ruminantes sin afectar el consumo y digestibilidad de los alimentos (Getachew et al., 2006).

Hay una variación genotípica y fenotípica considerable en la medición de medidas de eficiencia alimenticia como la tasa de conversión alimenticia, consumo de alimento residual (RFI, por sus siglas en inglés) y la eficiencia parcial del crecimiento. El consumo de alimento residual se define como la diferencia entre el consumo actual de alimento y el consumo esperado basado en el peso corporal y la tasa de crecimiento sobre un período específico determinado. Es posible, en un futuro, seleccionar animales que consuman menos en un peso corporal y tasa de crecimiento similares con menor producción de metano (Nkrumah et al., 2006).

La cantidad de ración consumida es una determinante importante en la emisión diaria de metano y por ello se ha incluido como una forma para predecir las cantidades de CH<sub>4</sub> producidas diariamente. Por esta razón Hegarty et al. (2007) cuantificaron la relación entre el RFI y la producción diaria de metano en ganado en engorda (Figura 6), de sus resultados concluyen que la reducción de emisiones de metano por el ganado a través de la selección de animales con más eficiencia alimenticia basados en su valor genético estimado ofrece un método novedoso para reducir los costos de alimentación, la producción de metano y potencialmente las emisiones de óxido nitroso sin comprometer su tasa de crecimiento. Además se confirma que la raza de ganado sobre la base de valores raciales estimados para RFI, ofrece un mecanismo definido para reducir las emisiones de metano sin comprometer la productividad animal.





Figura 6. Novillo con un aparato adaptado para la colección de metano (Hegarty et al., 2007).

La adición de ionóforos a la ración del ganado bovino productor de carne, particularmente la monoensina sódica, reduce el consumo de alimento en un 5 o 6%, disminuye la relación acético:propiónico y disminuyen las pérdidas de metano, sin embargo, la reducción de la producción de este gas es por períodos cortos (Johnson y Johnson, 1995). Estos autores opinan que la reducción de metano por la suplementación de ionóforos al ganado, probablemente sea por la reducción del consumo de MS y no por el efecto directo de sobre la metano génesis.

México al igual que otros países tiene la necesidad de planificar la reducción de las emisiones metano, en el caso de Canadá está comprometido a reducir las emisiones de gases invernadero en el período 2008 a 2012 de las emisiones que tenían en 1998 (Ellis et al., 2009), lo cual podría lograrse a través de tecnologías relacionadas con la alimentación animal, como las expuestas en este documento.

Según Cole et al. (2008), en el futuro se requiere incrementar el monitoreo de las emisiones de aire derivadas de las operaciones de alimentación animal concentradas. Se requieren modelos desarrollados que pueden estimar las emisiones de contaminantes a partir de las dietas, de los animales y de las variables ambientales.

En conclusión las prácticas de alimentación que permiten el crecimiento y desarrollo de los animales, además de considerar parámetros reproductivos y de rentabilidad, deben enfocarse a considerar las prácticas profesionales de nutrición y manejo alimenticio que permitan la reducción de la eliminación de elementos que se acumulen en el suelo, agua y gas (calentamiento global).

## Literatura citada

- Aalhus, J. L., A. L. Schaefer, A. C. Murray, y S. D. M. Jones. 1992. The effect of ractopamine on myofibre distribution and morphology and their relation to meal quality in swine. *Meat Sci* 31: 397-409.
- Archibeque, S. L., J. Burns, y G. B. Huntington. 2001. Urea flux in beef steers: Effects of forage species and nitrogen fertilization. *J Anim Sci* 79: 1937-1943.
- Archibeque, S. L., J. Burns, y G. B. Huntington. 2002. Nitrogen metabolism of beef steers fed endophytase-free tall fescue hay: Effects of ruminally protected methionine supplementation. *J Anim Sci* 80: 1344-1351.
- Archibeque, S. L., H. C. Freetly, N. A. Cole, y C. L. Ferrell. 2007a. The influence of oscillating dietary protein concentrations on finishing cattle. II. Nutrient retention and ammonia emissions. *J Anim Sci* 85: 1496-1503.
- Archibeque, S. L., D. N. Miller, H. C. Freetly, E. D. Berry, y C. L. Ferrell. 2007b. The influence of oscillating dietary protein concentrations on finishing cattle. I. Feedlot performance and odorous compound production. *J Anim Sci* 85: 1487-1495.
- Arriaga, H., M. Pinto, S. Calsamiglia, y P. Merino. 2009. Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms: An environmental perspective. *J Dairy Sci* 92: 204-215.
- Asunama, N., M. Iwamoto, y T. Hino. 1999. Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *J Dairy Sci* 82: 780-787.
- Baker, S. K. 1995. Rumen methanogens, and inhibition of methanogenesis. *Aust. J. Agric Res.* 50: 1293-1298.
- Beauchemin, K., y S. McGinn. 2005. Methane emissions from feedlot cattle barley or corn diets. *J Anim Sci* 83: 653-661.
- Beauchemin, K., y S. McGinn. 2006. Methane emissions from beef cattle: Effects of fumaric acid, essential oils, and canola oil. *J Anim Sci* 84: 1489-1496.
- Beauchemin, K., S. McGinn, T. F. Martinez, y T. A. McAllister. 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *J Anim Sci* 85: 1990-1996.

- Bierman, S., G. E. Erickson, T. J. Klopfenstein, R. A. Stock, y D. H. Shain. 1999. Evaluation of nitrogen and organic matter balance in the feedlot as affected by level and source of dietary fiber J Anim Sci 77: 1645-1653.
- Cole, N. A., P. R. Todd, B. Auvermann, y D. Parker. 2008. Auditing and assessing air quality in concentrated feeding operations. The Professional Animal Scientist 24: 1-22.
- Chizzotti, F. H. M., O. G. Pereira, L. O. Tedeschi, S. C. Valadares Filho, M. L. Chizzotti, M. I. Leao, y D. H. Pereira. 2008. Effects of dietary non protein nitrogen on performance, digestibility, ruminal characteristics, and microbial efficiency in crossbred steers. J Anim Sci 86: 1173-1181.
- Ellis, J. L., E. Kebreab, N. E. Odongo, K. Beauchemin, S. McGinn, J. D. Nkrumah, S. S. Moore, R. Christopherson, G. K. Murdoch, B. W. McBride, E. K. Okine, y J. France. 2009. Modeling methane production from beef cattle using linear and nonlinear approaches. J Anim Sci 87: 1334-1345.
- Gerrard, D., y A. L. Grant. 2003. An introduction to animal growth and development. In: C. Kendall/Hunt Publishing (ed.) Principles of animal growth and development. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa
- Getachew, G., P. E. J. DePeters, W. Pittrof, D. H. Putman, y A. M. Dandekar. 2006. Review: Does protein in alfalfa need protection from rumen microbes. The Professional Animal Scientist 22: 364-373.
- Gleghorn, J. F., N. A. Elam, M. L. Galyean, G. C. Duff, N. A. Cole, y J. D. Rivera. 2004. Effects of crude protein concentration and degradability on performance, carcass characteristics, and serum urea nitrogen concentrations in finishing beef steers. J Anim Sci 82: 2705-2717.
- Gwartney, B. L., S. J. Jones, y C. R. Calkins. 1992. Response time of broiler chickens to cimaterol: Meat tenderness, muscle composition fiber size, and carcass characteristics. J Anim Sci 70: 2144-2150.
- Hegarty, R. S. 1999. Reducing rumen methane emission through elimination of rumen protozoa. Aust. J. Agric Res. 50: 1321-1327.

- Hegarty, R. S., J. P. Goopy, R. M. Herd, y B. McCorkell. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J Anim Sci* 85: 1479-1486.
- Huntington, G. B., K. Magee, A. Matthews, M. Poore, y J. Burns. 2009. Urea metabolism in beef steers fed tall fescue, orchardgrass, or gamagrass hays. *J Anim Sci* 87: 1346-1353.
- Johnson, K. A., y D. E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J Anim Sci* 73: 2483-2492.
- Jongbloed, A. W., y N. P. Lenis. 1998. Environmental concerns about animal manure. *J Anim Sci* 76: 2641-2648.
- Jongbloed, A. W., N. P. Lenis, y Z. Mroz. 1997. Impact of nutrition on reduction of environmental pollution by pigs: An overview of recent research. *Vet Quart* 19: 130-134.
- Jordan, E., D. Kenny, M. Hawkins, R. Malone, y F. P. O'Mara. 2006. Effect of refined soy oil or whole soybeans on intake, methane output, and performance of young bulls. *J Anim Sci* 84: 2418:2425.
- Khon, R. A., M. M. Dinneen, y E. Russek-Cohen. 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goat, horse, pigs, and rats. *J Anim Sci* 83: 879-889.
- Kim, S. C., A. T. Adesogan, y J. D. Arthington. 2007. Optimizing nitrogen utilization in growing steers diets supplemented with dried citrus pulp. *J Anim Sci* 85: 2548-2555.
- Klopfenstein, T. J., G. E. Erickson, y V. R. Bremer. 2008. Board-invited review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J Anim Sci* 86: 1223-1231.
- Marinus, F. W. 2003. Candidate genes for meat production and meat quality – the *mrf* genes. In: Gene polymorphisms affecting health and production traits in farm animals, Jastrzębiec, Poland. p 115-118.
- Morvan, B., F. Bonnemoy, G. Fonty, y P. Gouet. 1996. Quantitative determination of h<sub>2</sub>-utilizing acetogenic and sulfate and sulfate-reducing bacteria and methanogenic archae from digestive tract of different mammals. *Curr Microbiol* 32: 129-133.

- Nahm, K. H. 2002. Efficient feed nutrient utilization to reduce pollutants in poultry and swine manure. *Crit. Rev. Environ. Sci. Tecchnol.* 32: 1-16.
- Nkrumah, J. D., E. K. Okine, G. W. Mathison, K. Schmid, C. Li, J. A. Basarab, y M. A. Price. 2006. Relationship of feed lot efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J Anim Sci* 84: 145-153.
- NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th rev. ed. ed. Natl. Acad. Sci, Washington, D. C.
- NRC. 1998. Nutrient requirements of swine. 10th rev. ed. ed. Natl. Acad. Sci, Washington, D. C.
- NRC. 2000. Nutrient requeriments of beef catte. 7th Rev. Ed. Update 2000 ed. Natl. Acad. Sci. Washington, D. C.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. ed. Natl. Acad. Sci, Washington, D. C.
- Power, J. F., B. Eghball, y J. A. Lory. 1994. Utilization of nutrients in beef cattle feedlot manure in the northern great plains. *Proc. Great plains anim. Plains anim. Waste conf. On confined anim. Prod. And water quality. Balancing anim prod. & the environment.* Gpac publ. No. 151 pp 161-167. Great Plains Agric. Council, Fort Collins, CO.
- Puchala, R., B. R. Min, A. L. Goetsch, y T. Sahlu. 2005. The effect of a condensed tannin-containing forage on methane emission by goats. *J Anim Sci* 83: 182-186.
- Scarpa, S. T., R. Strom, A. Bozzi, R. R. Aksamit, P. S. J. Backlund, y J. Chen. 1984. Differentiation of myoblast cell lines and biological methylation: 3-deazaadenosine stimulates formation of multinucleated myofibers. *Biochemistry* 81: 3064-3068.
- Schroeder, G. F., E. C. Titgemeyer, M. S. Awawdeh, J. S. Smith, y D. P. Gnad. 2006a. Effects of energy level on methionine utilization by growing steers. *J Anim Sci* 84: 1497-1504.
- Schroeder, G. F., E. C. Titgemeyer, M. S. Awawdeh, J. S. Smith, y D. P. Gnad. 2006b. Effects of energy source on methionine utilization by growing steers. *J Anim Sci* 84: 1505-1511.

- Solomon, M. B., R. G. Campbell, N. C. Steele, T. J. Caperna, y J. P. McMurtry. 1988. Effect of feed intake and exogenous porcine somatotropin on longissimus muscle fiber characteristics of pigs weighing 55 kilograms live weight. *J Anim Sci* 66: 3279:3284.
- Solomon, M. B., T. J. Caperna, R. J. Mroz, y N. C. Steele. 1994. Influence of dietary protein and recombinant porcine somatotropin administration in young pigs: lii. Muscle fiber morphology and shear force. *J Anim Sci* 72: 615-621.
- Sun, Z. H., Z. L. Tan, S. M. Liu, G. O. Tayo, B. Lin, B. Teng, S. X. Tang, W. J. Wang, Y. P. Liao, Y. F. Pan, J. R. Wang, X. G. Zhao, y Y. Hu. 2007. Effects of dietary methionine and lysine sources on nutrient digestion, nitrogen utilization, and duodenal amino acid flow in growing goats. *J Anim Sci* 85: 3340-3347.
- Sutton, A. L., K. B. Kephart, W. A. Verstegen, T. T. Cahn, y P. J. Hobbs. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *J Anim Sci* 77: 430-439.
- Ungerfeld, E. M., R. A. Khon, R. J. Wallace, y C. J. Newbold. 2007. A meta analysis of fumarate effects on methane production in ruminal batch cultures. *J Anim Sci* 85: 2556-2563.
- Van Horn, H. H., G. L. Newton, y W. E. Kunkle. 1996. Ruminant nutrition from an environmental perspective: Factors affecting whole-farm nutrient balance. *J Anim Sci* 74: 3082-3012.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Second Edition ed. Cornell University Press, Ithaca N. Y.
- Vasconcelos, J. T., N. A. Cole, B. W. McBride, A. Gueye, M. L. Galyean, C. R. Richardson, y L. W. Greene. 2009. Effects of dietary crude protein and supplemental urea levels on nitrogen and phosphorus utilization by feedlot cattle. *J Anim Sci* 87: 1174-1183.
- Vasconcelos, J. T., y M. L. Galyean. 2007. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. *J Anim Sci* 85: 2772:2781.
- Vasconcelos, J. T., L. W. Greene, N. A. Cole, M. S. Brown, F. T. McCollum, y L. O. Tedeschi. 2006. Effects of phase feeding of protein on performance, blood urea

nitrogen concentration, manure nitrogen:Phosphorus ratio, and carcass characteristics of feedlot cattle. *J Anim Sci* 84: 3032-3038.

Vestergaard, M., P. Henckel, N. Oksbjerg, y K. Sejrsen. 1994. The effect of cimaterol on muscle fiber characteristics, capillary supply, and metabolic potentials of longissimus and semitendinosus muscles from young friesland bulls. *J Anim Sci* 72: 2298-2306.

Waggoner, J. W., C. A. Löest, C. P. Mathis, D. M. Hallford, y M. K. Petersen. 2009. Effects of rumen-protected methionine supplementation and bacterial lipopolysaccharide infusion on nitrogen metabolism and hormonal responses of growing beef steers. *J Anim Sci* 87: 681-692.

Waterman, R. C., C. A. Löest, W. D. Bryant, y M. K. Petersen. 2007. Supplemental methionine and urea for gestating beef cows consuming forage diets. *J Anim Sci* 85: 731-736.