

## **Nutrición Ovina**

Brianda S. Velázquez De Lucio, Yuridia Mercado Flores, Alejandro Téllez Jurado, Maricela Ayala Martínez, Edna M. Hernández Domínguez, Jorge Álvarez Cervantes

B.Velázquez<sup>1</sup>, Y. Mercado<sup>1</sup>, A. Téllez<sup>1</sup>, M. Ayala<sup>3</sup>, E.Hernández<sup>2</sup>, J. Álvarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Pachuca (UPPachuca), Posgrado en Biotecnología.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo (ITESA).

<sup>3</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH).

ehernandez@itesa.edu.mx

F. Trejo, (eds.).Ciencias Biológicas y de la Salud, Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

## Abstract

Sheep breeding in Mexico is mainly intended for the production of meat for human consumption, however, factors such as low genetic quality of livestock and deficiencies in food cause fluctuations that are reflected in the animal's body condition and gain in weight; so the need arises to find efficient feeding alternatives that meet their nutritional need. In this chapter, important issues of ovine nutrition, digestive system, production systems, and biotechnological perspectives for the feeding of sheep through the use of lignocellulosic residues degraded by fungi.

## Residuos lignocelulósicos, *Pleurotus ostreatus*, Rumiante, alimento balanceado

### Introducción

Los ovinos son animales rumiantes criados principalmente en pastoreo para la producción de carne de consumo humano, la cual genera grandes derramas económicas al país. Se alimentan de pastos, pajas, arbustos, leguminosas o forrajes de bajo valor nutritivo y difícil digestión, aprovechando solo una parte de los carbohidratos estructurales por acción enzimática de los microorganismos que viven en sus divertículos estomacales; sin embargo, los fuertes vínculos entre la celulosa, hemicelulosa y lignina inhiben la accesibilidad total de las enzimas microbianas del rumen, bloqueando cantidades significativas de energía para el animal, lo que ocasiona una disminución en su producción.

La deslignificación biológica es una forma prometedora para mejorar la calidad nutricional y digestibilidad de materiales fibrosos, como es el caso del sustrato degradado por hongos, el cual es el residuo que queda del cultivo de un hongo sobre un material lignocelulósico, que puede ser utilizado en la formulación de alimentos balanceados para rumiantes.

En este capítulo se aborda de manera general los aspectos del sistema digestivo de los rumiantes, su ecosistema ruminal para la fermentación de alimentos fibrosos, nutrición y los avances biotecnológicos para el aprovechamiento de residuos en la elaboración de alimentos balanceados.

### Ovinocultura en el Estado de Hidalgo

En la actualidad en México, la cría de ovinos se destina para la producción de carne para consumo humano, de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) la producción nacional de ganado ovino en pie fue de 116 047 toneladas y en canal de 59 419 toneladas en el año 2015, en donde el Estado de Hidalgo se posicionó en el 2° lugar en producción de ganado ovino en pie con 14 533 toneladas después del Estado de México con una producción 17 033 toneladas en el mismo año.

A pesar de lo anterior, la producción de carne ovina para consumo humano en México no es suficiente ya que sólo se genera cerca del 70% de la carne que se consume (Arteaga, 2012), debiendo importarla congelada de otros países (SAGARPA 2015), como Jordania, Turquía y Corea del Sur (Arteaga, 2012). La deficiente producción se debe principalmente a factores como la baja calidad genética de los rebaños, escasa adopción de tecnologías, deficiencias en la comercialización (Bores y Vega, 2003), entre otros, por lo que es una necesidad incrementar la producción. En el Estado de Hidalgo, la ovinocultura es una actividad importante para la población, no solo por los ingresos que genera, sino también por la identidad y calidad del sabor de su barbacoa (SAGARPA 2015), el cual es un platillo típico de la región preparado con carne de ovino cocida en su propio jugo o al vapor (SIAP, 2014).

## Ganado ovino

El borrego doméstico, *Ovis aries*, Figura 7.1 es un animal ungulado, con dos dedos, rumiante y herbívoro del que se obtienen principalmente carne, lana y leche. Carece de dientes incisivos superiores y caninos se alimentan de hierbas frescas y utilizan sus cuatro estómagos para la degradación y absorción de los nutrientes, su piel posee dos estructuraciones, una de pelo y otra de lana, la cual se desarrolla de acuerdo con la raza y condiciones climatológicas. Los ovinos poseen un sistema gustativo desarrollado que le permite ser un “Rumiante selectivo” por lo que selecciona su comida y la cortan con sus dientes (Vega-Pérez y García-Barrera, 2011).

**Figura 7.1** Borrego doméstico *Ovis Aries*



## Sistemas de producción

Existen diferentes razas de ovinos en todo el mundo criadas para la producción de carne como el Dorset, el Columbia, el Suffolk y el Hampshire, y para la producción de lana que incluyen el Merino, Rambouillet, Lincoln y Romney (Delano *et al.*, 2002); en el caso de México se producen carne y pieles con razas como la Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorser y de pelo como Katahdin y Polibuey. Su producción en México se lleva a cabo por diversos sistemas que dependen principalmente de las condiciones climatológicas, disponibilidad de recursos y nivel socioeconómico de los productores, los principales se desarrollan en pastoreo, estabulación o su combinación; y de acuerdo con la intensidad son divididos en intensivos, semi-extensivos y extensivos; con respecto a su propósito fundamental se clasifican como comerciales y de autoconsumo (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

### Sistema de producción intensiva

Mediante este sistema los animales tienen acceso a la alimentación abundante mediante comederos, viven al aire libre y poseen mano de obra especializada. Este tipo de sistema de producción es el indicado para la crianza de animales, el cual procura obtener una mayor eficiencia reproductiva y mínima mortalidad. La producción intensiva puede ser en pastoreo tecnificado, en completa estabulación o en esquemas mixtos (Vega-Pérez y García-Barrera, 2011).

En el sistema de pastoreo tecnificado o racional, el alimento que el animal consume está constituido principalmente por forrajes y/o gramíneas con leguminosas; toma en cuenta factores como la temperatura, radiación solar, disponibilidad de agua, propiedades físicas del suelo y precipitación pluvial (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

En la estabulación, los animales son confinados durante toda su vida a corrales donde cuentan con los cuidados necesarios como sombra, comederos y bebederos automáticos. En esta categoría existen unidades especiales para cada etapa fisiológica, donde los animales son atendidos de acuerdo con sus necesidades específicas de sexo, edad y peso (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

### **Sistema extensivo**

En este sistema la crianza de los animales es a gran escala y se utilizan pasturas naturales como fuente principal de alimentos. Requiere acceso a cereales, manejo y cuidados sanitarios para los animales (Vega-Pérez y García-Barrera, 2011). Aquí no se proporcionan complementos alimenticios, solo reciben sales minerales como suplementos (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

### **Sistema semi-extensivo**

Los animales pastorean en potreros o en plantaciones por las mañanas y luego por las tardes antes del anochecer (Figura 7.2). Los ovinos reciben alimentación complementaria como esquilmos agrícolas, granos, cereales o alimentos comerciales (Partida de la Peña *et al.*, 2013).

**Figura 7.2** Sistema de producción semi-extensivo



### **Alimentación y Nutrición Ovina**

Poseen la capacidad de degradar los hidratos de carbono estructurales como la celulosa, hemicelulosa y pectina presentes forrajes y pastos, gracias a sus divertículos estomacales existen microorganismos que realizan procesos fermentativos (Relling y Mattioli, 2003).

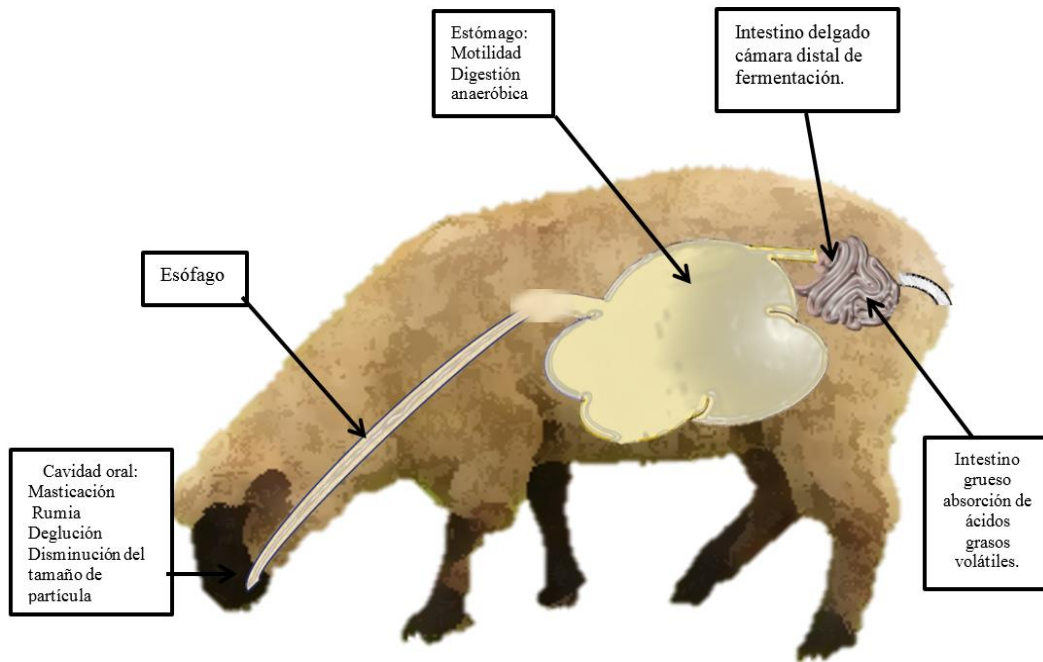
### **Función e importancia del sistema digestivo de los rumiantes**

Los rumiantes son animales que poseen un conducto gastrointestinal con cierto grado de especialización y variaciones anatómicas resultado de la evolución y la selección del alimento, de acuerdo con esto, las especies que evolucionaron precozmente son conocidos como selectores ya que escogen los vegetales y alimentos de fácil digestión; los consumidores de gramíneas y forrajes se alimentan de vegetales fibrosos, encontrándose el ganado vacuno, ovejas salvajes y domésticas como consumidores de estos, otro grupo es el tipo intermedio o mixto que se adapta a un extremo u otro como las cabras (Hofman, 1993).

El sistema digestivo de los rumiantes (Figura 7.3), anatómicamente puede dividirse de acuerdo a su desarrollo y función en:

- Porción cefálica con glándulas anejas.
- Porción del intestino anterior que comprende al esófago y estómago.
- Porción del intestino medio que comprende el intestino delgado y glándulas anejas.
- Porción de intestino posterior que comprende al intestino grueso y ano (Hofman, 1993).

**Figura 7.3** El sistema digestivo de los rumiantes posee un grado de especialización resultado de la evolución y hábitos alimenticios



La porción correspondiente a la cabeza y glándulas anejas comprende los órganos prensiles consistentes en labios, lengua, dientes incisivos inferiores y lámina dental. La cavidad oral se encuentra recubierta por una mucosa cutánea gruesa y es ocupada en su mayor parte por la lengua; las glándulas salivales son variables de acuerdo con el tipo de alimentación del animal (Hofman, 1993).

Alguna de las funciones de la saliva en los rumiantes son (Church, 1993):

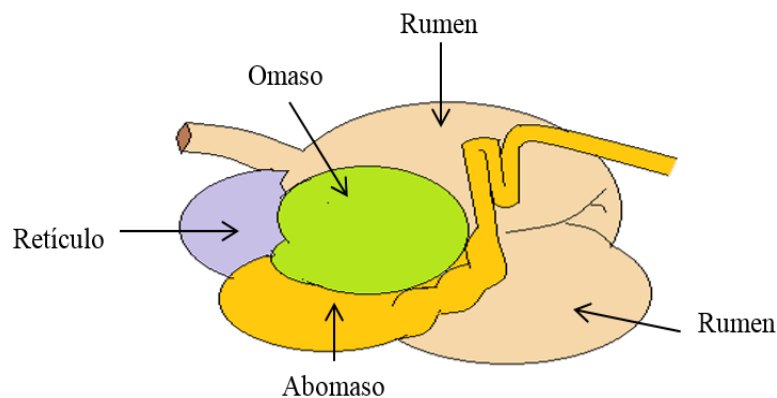
- Ayudan a la masticación y deglución.
- Actividad enzimática, los rumiantes carecen de la enzima amilasa, pero poseen un grupo de enzimas denominado lipasa salival que interviene en la hidrólisis de ácidos grasos de cadena corta como butírico.
- Actividad tampón (bicarbonato-fosfato) como mecanismo para mantener el pH del rumen en las condiciones a las que se encuentran adaptadas los microorganismos.
- Factor importante para la apreciación de sabores.
- Tiene propiedades antiespumantes.

El aparato masticador de los rumiantes está conformado por las mandíbulas, dientes y músculos que intervienen en la masticación, la cual es una acción previa a la digestión que permite la reducción de los materiales vegetales hasta un tamaño adecuado para el ataque de los carbohidratos estructurales por los microorganismos del rumen e intestinos (Hofman, 1993).

El esófago es un tubo que desemboca en el estómago (Hofman, 1993), el cual como puede observarse en la Figura 7.4 posee cuatro cavidades: el retículo, el rumen, el omaso y el abomaso, los tres primeros son conocidos como pre-estómagos y poseen una mucosa aglandular (no excretan jugos gástricos), el abomaso es una estructura glandular (Redondo, 2003), el retículo y el abomaso se encuentran unidos por un pliegue denominado retículo-ruminal, que conforma una cuba de fermentación (Krause *et al.*, 2013).

El intestino de los rumiantes es caracterizado por su longitud y por su disposición de una cámara distal de fermentación; el intestino delgado posee una mucosa con presencia de vellosidades a diferencia del intestino grueso el cual carece de estos (Hofman, 1993), las funciones homeostáticas del intestino grueso incluyen el mantenimiento del equilibrio entre los electrolitos y los fluidos, así como un alojamiento para microorganismos (razón por la que aquí se lleve a cabo la absorción de ácidos grasos volátiles), además de ser el almacén temporal de las heces hasta su eliminación (Ruckebusch, 1993).

**Figura 7.4** Estómago de rumiantes, donde se observan sus 4 compartimientos característicos.



Fuente: Modificado de Redondo, 2003

Para alimentarse los rumiantes mastican la comida liberando los componentes solubles y dañando los tejidos vegetales para la digestión microbiana (Krehbiel, 2014); experimentan movimientos ordenados del retículo-rumen (motilidad) que les permiten mezclar los alimentos recién ingeridos y los existentes en el estómago. La motilidad, interviene en la regurgitación y eructación de los gases generados, así como en la retención del alimento para una adecuada y lenta digestión microbiana (Ruckebusch, 1993).

Los rumiantes también rumian, es decir tragan los alimentos, los regurgitan, mastican y vuelven a tragar los alimentos regurgitados (Krehbiel, 2014), la nueva masticación proporciona una re-insalivación y deglución adicional del bolo alimenticio (Ruckebusch, 1993); la rumia tiene funciones importantes dentro de las que destacan:

- Contribución a la degradación del tamaño de partículas.
- Rompe las cubiertas impenetrables de los tejidos vegetales lo que aumenta la superficie accesible para los microorganismos (Welch y Hooper, 1993).

La eficacia de la masticación y rumia dependen tanto del animal como de la composición del forraje, así la masticación influye en la digestión bacteriana ya que ésta será más rápida cuanto más reducido sea el tamaño de las partículas del alimento (Welch y Hooper, 1993).



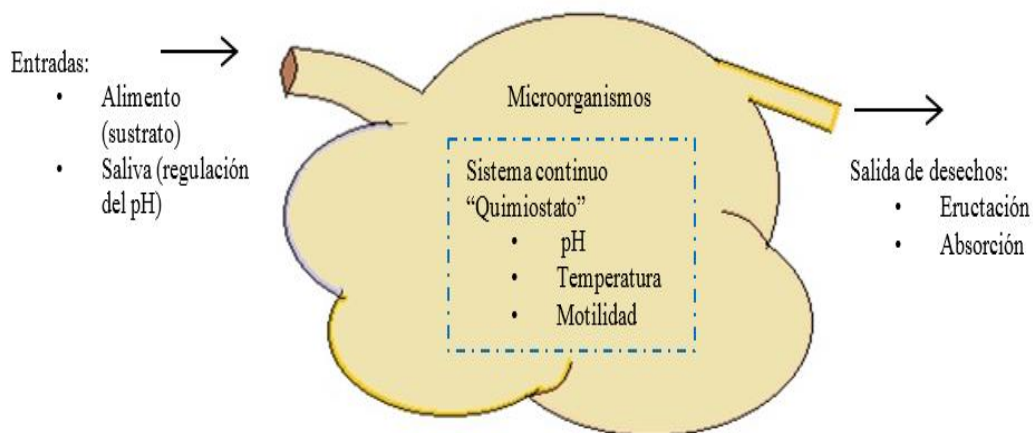
El eructo, es un mecanismo por medio del cual los rumiantes arrojan al exterior gran parte de los gases producidos durante la fermentación microbiana y se manifiesta en mayor proporción entre los 30 minutos a 2 horas posteriores a la ingestión de los alimentos, se estimula por la presión del gas en el rumen, a diferencia de la rumia la cual es estimulada por mecanismos táctiles y químicos (Ruckebusch, 1993).

Por las características del sistema digestivo, los rumiantes son capaces de aprovechar polisacáridos de vegetales por la acción enzimática de bacterias, protozoos y hongos que viven dentro del rumen, que mediante fermentación anaeróbica proporcionan energía metabolizable al animal, aminoácidos y vitaminas del complejo B, en contraparte las proteínas son de bajo valor biológico (Krehbiel, 2014); además, también como parte de la digestión ruminal se producen ácidos grasos volátiles (AVG) y proteína microbiana (Krehbiel, 2014).

### Ecosistema Ruminal y fermentación microbiana

El rumen es un hábitat ideal con las condiciones necesarias para la supervivencia y crecimiento de microorganismos, donde la temperatura permanece relativamente constante entre los 36° y los 40°C, el agua y la saliva proporcionan el ambiente húmedo requerido y los alimentos proveen la energía para el crecimiento y actividad microbiana; la motilidad permite el contacto entre los alimentos ingeridos y los microorganismos, y por último los productos finales de la fermentación son eliminados por absorción sanguínea o a través de la eructación; de acuerdo con lo anterior, el rumen funciona como un fermentador en un sistema continuo “quimiostato” (Figura 7.5), (Nagaraja, 2016).

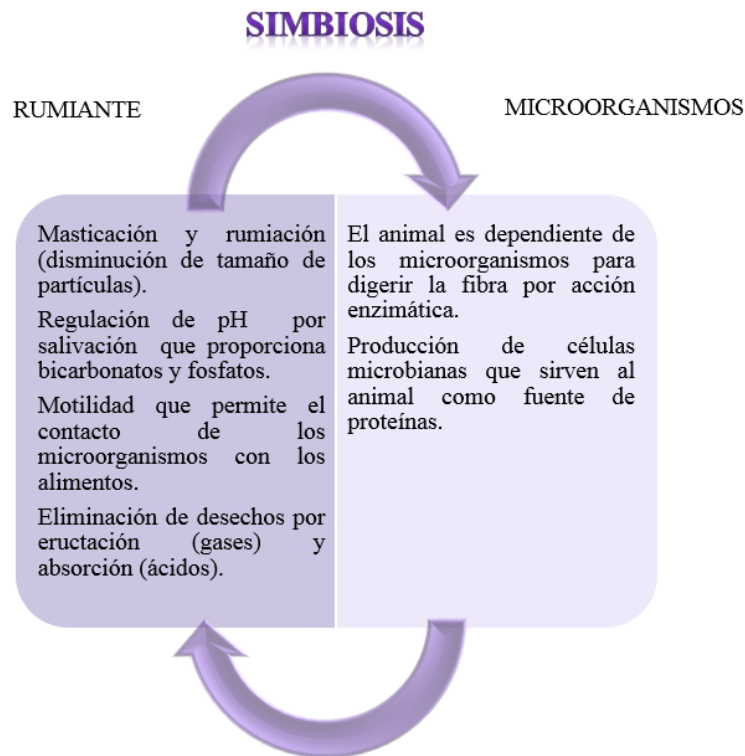
**Figura 7.5** El estómago de un rumiante funciona como un sistema de fermentación continuo (quimiostato)



Fuente: Modificado de Nagaraja, 2016

Los microorganismos y el animal viven en una estrecha relación simbiótica (Figura 7.6), donde el huésped proporciona a los microorganismos el ambiente para que puedan desarrollarse contribuyendo entre otras cosas a la digestión de los alimentos ingeridos (Nagaraja, 2016), la fermentación en el rumen es el resultado de interacciones entre los microorganismos que habitan este ecosistema como, mutualismo (beneficio para ambas especies), comensalismo (interacción beneficiosa para uno sin influir en el otro), parasitismo (interacción en que un microorganismo se beneficia del otro influyendo negativamente en este) (Yokoyama y Johnson, 1993).

**Figura 7.6** El animal (Huésped) y los microorganismos conviven en una armoniosa relación simbiótica donde uno depende del otro para subsistir.



El ecosistema del rumen está poblado por bacterias, protozoos, hongos y bacteriófagos (Nagaraja, 2016), y a pesar de que en el rumen penetran constantemente microorganismos extraños por medio de los alimentos, agua y tierra no ejercen influencia significativa sobre los microorganismos del rumen ya que no son capaces de adaptarse a las condiciones ambientales (Yokoyama y Johnson, 1993).

Las bacterias del rumen oscilan entre  $10^{10}$  y  $10^{11}$ , en su mayoría son anaerobias obligadas y en menor proporción anaerobias facultativas; pueden encontrarse adheridas a los alimentos o flotantes en el líquido ruminal. Las bacterias del rumen de acuerdo a sus formas pueden ser cocos, bacilos y espirilos; y por los sustratos que fermentan se agrupan como se muestra en la Tabla 7.1 (Yokoyama y Johnson, 1993).

**Tabla 7.1** Clasificación de las bacterias que habitan el rumen de acuerdo con el sustrato que fermentan

Clasificación	Sustrato	Ejemplos
Bacterias celulolíticas	Celulosa. Degradación escalonada de celulosa a glucosa	<i>Bacteroides succinogenes</i> , <i>Ruminococcus flavefaciens</i> <i>R. albus</i>
Bacterias hemicelulolíticas	Hemicelulosa	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Ruminococcus spp.</i>
Bacterias pectinolíticas	Pectina	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Lachnospira mutiparus</i>
Bacterias amilolíticas,	Almidón. Su degradación es por la intervención de $\alpha$ -amilasa extracelular que rompe al azar la cadena del almidón.	<i>Bacteroides amylophilus</i> , <i>Streptococcus bovis</i> , <i>Bacteroides ruminicola</i>



Bacterias que utilizan azúcares simples	Azúcares simples	<i>Treponema bryantii</i> <i>Lactobacillus vitulinus</i>
Bacterias que usan ácidos intermedios. Estas bacterias fermentan los productos finales de otras bacterias.	Lactato, Acetato, propionato o ácidos grasos. Succinato, Propionato, CO <sub>2</sub> , Metanoato, Metano	<i>Megasphaera elsdenii</i> y <i>Selenomonas ruminantium</i> <i>Selenomonas ruminantium</i> , <i>Veilonella alcalescens</i> <i>Methanobrevibacter ruminantium</i>
Bacterias proteolíticas	Proteínas	<i>Bacteroides ruminicola</i> , <i>B. amylophilus</i> .
Bacterias productoras de amoníaco. Producción de amoníaco mediante la desaminación de aminoácidos.	Aminoácidos	<i>Bacteroides ruminicola</i> , <i>Megasphaera elsdenii</i> , <i>Selenomonas ruminantium</i> .
Bacterias lipolíticas	Lípidos	<i>Anaerovibrio lipolytica</i> hidroliza triglicéridos y fosfolípidos a glicerina y 3 ácidos grasos. <i>Butyrivibrio</i> spp. hidrólisis de galactolípidos, fosfolípidos y sulfolípidos.
Bacterias productoras de metano. Papel en la regulación de la fermentación total al eliminar H <sub>2</sub> gaseoso, al mantenerse bajo este mediante la formación de CH <sub>4</sub> se promueve el crecimiento de otras bacterias que permiten una fermentación más eficaz.	Reducción de CO <sub>2</sub> con H <sub>2</sub> para producir metano.	Bacterias metanogénicas como: <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> , <i>Methanobrevibacterium formicicum</i> , <i>Methanomicrobium mobile</i> .
Bacterias ureolíticas	Urea	<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> , <i>Selenomonas</i> sp, <i>Treponema</i> sp.

Fuente: Modificada de Yokoyama y Johnson, 1993

Los protozoarios del rumen se encuentran en una proporción de unos 10<sup>5</sup> a 10<sup>6</sup> cel/ml del contenido ruminal, todos son anaerobios estrictos (Yokoyama y Johnson, 1993); y pueden ser flagelados y ciliados; participan activamente en la digestión ruminal por acción de enzimas hidrolíticas que actúan sobre los componentes principales de los piensos (Nagaraja, 2016).

Los hongos del rumen contribuyen a la fermentación de los carbohidratos mediante la producción de enzimas hidrolíticas (celulasas, hemicelulasas, pectinasas, liasas, amilasas y proteasas), y son capaces de utilizar glucosa, celobiosa y lactosa, e incluso algunos hongos pueden utilizar la maltosa, galactosa, ribosa y ramnosa.

En el caso de los bacteriófagos son virus que infectan a las bacterias y han sido encontrados en el líquido ruminal (Nagaraja, 2016). Durante la fermentación en el rumen los componentes de la dieta son transformados en productos útiles como ácidos grasos volátiles, proteína microbiana y vitaminas del grupo B, también se producen productos inútiles como son CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, así como productos nocivos como amoníaco y nitrato (Owens y Goetsch, 1993). Los carbohidratos, lípidos y proteínas ingeridos en los alimentos suelen ser polímeros que son convertidos en monómeros para su fermentación o absorción; los productos finales de la fermentación son eliminados continuamente e incluyen ácidos grasos volátiles, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N amoniacal como se muestra en la Tabla 7.2.

**Tabla 7.2** Conversión de componentes inmediatos de los alimentos y su producto final en la digestión ruminal

Componente del alimento	Polímero	Monómero	Producto de la fermentación ruminal
Extracto libre de nitrógeno	Carbohidratos (hexosas)	Glucosa	Acetato, propionato y butirato
Fibra Bruta	Pentosana	Pentosas	Acetato, propionato y butirato
Proteína Bruta	N no proteico	Aminoácidos	Acetato, propionato, butirato, isobutirato, isovalerato y amoniaco
Grasa Bruta	Triglicéridos Galactósidos	Glicerina y ácidos grasos	Propionato y ácidos grasos saturados
Ceniza Bruta	Minerales	Elementos	Elementos reducidos+células microbianas+CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub>

Fuente: Tomado y modificado de Owens y Goetsch, 1993

## Nutrición y Requerimientos Nutricionales

Una nutrición adecuada para todos los animales es fundamental para su bienestar y productividad y no solo se refiere a proveer sus necesidades inmediatas. Los ovinos son animales rumiantes que se relacionan con bacterias, protozoos y hongos del rumen para la digestión de los alimentos fibrosos que consumen, por lo tanto, son necesarias formulaciones adecuadas para el mantenimiento del cuerpo, actividad física, crecimiento y reproducción (Hybu Cig Cymru / Meat Promotion Wales, 2006). Los requerimientos nutritivos de los ovinos dependen de la etapa de vida del animal (Giménez, 1994) y se refieren a la demanda diaria de agua, energía y proteínas además de algunas vitaminas y minerales (SENACSA, 2014).

### Agua

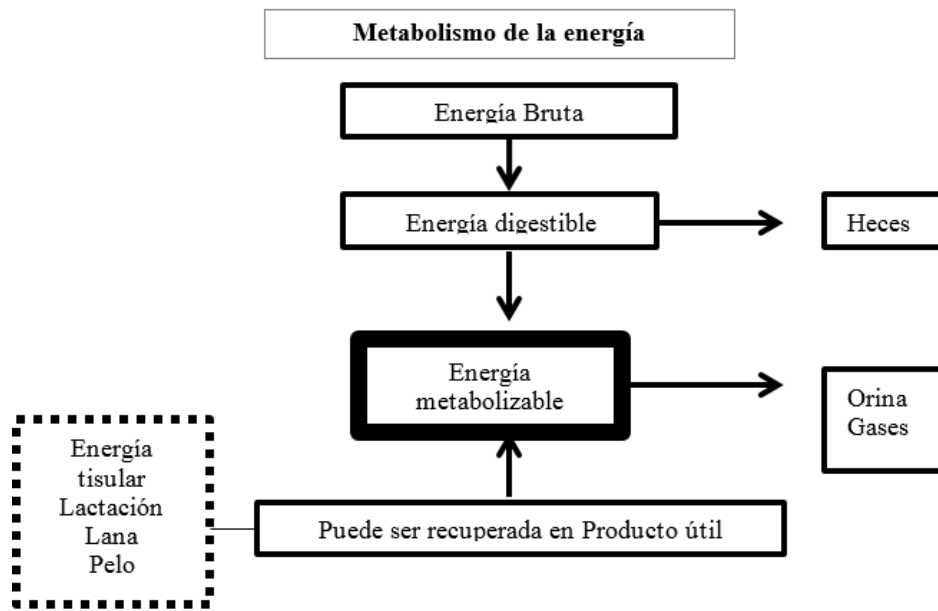
El agua es un componente esencial de los organismos, y representa del 60 al 70% del peso corporal (INATEC, 2016), se obtiene a través del agua de bebida, la contenida en los forrajes y el agua metabólica formada por la oxidación de los nutrientes; se pierde, a través de las heces, orina, al respirar y en forma de sudor. El agua cumple funciones en el metabolismo intermedio, es decir, todas las reacciones bioquímicas que tienen lugar en el animal necesitan agua, también desempeña un papel fundamental en el transporte y eliminación de residuos (Squires, 1993) y mantención de la temperatura corporal del animal (INATEC, 2016).

### Energía

La energía, es el factor limitante en la alimentación de los rumiantes, una escasez de ésta se traducirá en una disminución de la producción, falla reproductiva, aumento de la mortalidad, mayor susceptibilidad a enfermedades y parásitos (Giménez, 1994). La energía que obtiene el ganado de los alimentos, antes de ser aprovechada para el crecimiento y producción pasa por diversas pérdidas, por lo que podemos distinguir en la nutrición animal los siguientes tipos de energía (Figura 7.7).

La energía bruta o calor de combustión, es la total contenida en los alimentos, y es la energía liberada en forma de calor cuando la sustancia orgánica se oxida hasta dióxido de carbono y agua. La energía digestible, es la que el ganado es capaz de digerir, mientras que las porciones no digeridas son desechadas a través de las heces, la energía metabolizable es el resto de la energía perdida a través de la orina y gases; esta puede ser recuperada en forma de un producto útil como leche, lana o pelo (INATEC, 2016; Ferrell, 1993).

**Figura 7.7** Energía en la nutrición animal



Fuente: Modificado de Ferrell, 1993

**Proteína**

La proteína es necesaria para proporcionar energía, construcción y reparación de tejidos (Giménez, 1994); en el caso de los animales rumiantes, los microorganismos del rumen tienen la capacidad de utilizar nitrógeno no proteico (NNP) sintetizándose una proteína microbiana y los aminoácidos esenciales no son necesarios (INATEC, 2016). La proteína suministrada a través de la dieta es sometida a una degradación progresiva en el rumen y solo una porción de ésta llegará al intestino donde podrá ser absorbida y aprovechada por el animal (Owens y Zinn, 1993); por esta razón, para la alimentación de los rumiantes es necesario conocer y estimar la degradación de la proteína en su sistema digestivo mediante un fraccionamiento en base a su solubilidad y degradabilidad (Figura 7.8) en fracción A, fracción B que a su vez se divide en B1, B2, B3 y la fracción C (Sniffen *et al.*; 1992; Krishnamoorthy *et al.*, 1982; Van Soest *et al.*, 1983; NCR, 2001).

**Figura 7.8** Fracciones de las proteínas en base a su solubilidad y degradabilidad

FRACCION A Nitrógeno no proteico (NNP)		
Degradación rápida en el rumen y soluble.		
FRACCION B		
B1 Rápidamente degradada en el rumen.	B2 Degradada parcialmente en rumen e intestino delgado.	B3 (Proteína de sobrepaso) Degradada lentamente en el rumen. Asociada a la pared celular Se degrada en el intestino delgado.
FRACCION C Proteína insoluble		
Asociada a la lignina No se degrada en el rumen ni el intestino delgado Proteína no utilizable		

## Carbohidratos y fibra

Los carbohidratos son compuestos que químicamente pueden ser hidroxialdehídos o hidroxiacetonas, se dividen en monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (estructurales y no estructurales). Los carbohidratos, son indispensables para la producción de energía (INATEC, 2016), su metabolismo por los microorganismos del rumen determina la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) responsables de proveer del 70 al 80% de necesidades calóricas al animal (Fahey y Berger, 1993); los carbohidratos también se degradan en el intestino delgado generando monosacáridos donde son absorbidos y aprovechados (Hall y Eastridget, 2014). La fermentación de los carbohidratos se lleva a cabo por diferentes bacterias como *Bacteroides amylophilus*, *Streptococcus bovis*, *Succinimonas amylolytica*, *Bacteroides ruminicola*, entre otras. La fermentación de la glucosa y otros monosacáridos se lleva a cabo por el ciclo de Embden-Meyerhof, donde existe una conversión de una hexosa en 2 moles de piruvato, 2 ATP y 2 NADH<sub>2</sub>. El piruvato, es el compuesto intermedio por el que pasan los carbohidratos para producir AGV, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> (Fahey y Berger, 1993).

Los carbohidratos estructurales cobran gran importancia debido a que estos influyen directamente en la digestibilidad del alimento y la cantidad de pienso que será consumida por el animal, por lo que para su determinación se utilizan métodos como la microscopía electrónica de barrido, refractancia de infrarojos y otros como el sistema propuesto por Van Soest que permite conocer el contenido de fibra detergente neutro (FDN) que hace referencia al potencial de consumo de en forraje, y fibra detergente ácido (FDA), considerada como indicador de la digestibilidad relativa (Figura 7.9) (Fahey y Berger, 1993).

**Figura 7.9** Características de las fracciones de la fibra detergente ácido y fibra detergente neutro

<b>Fibra detergente neutro (FDN)</b>	Comprende componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice)
	A medida que aumenta FDN la tasa de digestión es más lenta.
	Corresponde a la parte insoluble de la fibra.
	Su degradabilidad media es del 60%, el 50% se degrada en el rumen y el 10% en el intestino grueso.
<b>Fibra detergente ácido (FDA)</b>	Comprende la celulosa, lignina ácido detergente, cutina ácido detergente.

## Lípidos

Los rumiantes al ser animales herbívoros consumen solo una reducida porción de lípidos, por lo que suele adicionarse semillas oleaginosas o suplementos. En las raciones comerciales se pueden agregar de 1-2% para mejorar sus características (Byers y Schelling, 1993), sin embargo, dentro del rumen pueden producirse los AGV. Microorganismos como bacterias y protozoos cumplen un papel fundamental en la hidrogenación de los lípidos, además realizan la síntesis del novo de ácidos grasos de cadena larga. La digestibilidad del extracto etéreo es menor en los rumiantes comparado con los no rumiantes debido a la fracción del material no lipídico (Byers y Schelling, 1993).

## Vitaminas y minerales

Las vitaminas son necesarias ya que participan en el metabolismo como componentes de coenzimas y enzimas (INATEC, 2016), los microorganismos del rumen poseen la capacidad de sintetizar las vitaminas del grupo B y la vitamina K; sin embargo, las vitaminas A, D y E deben ser ingeridas de los alimentos por lo que se denominan vitaminas esenciales (Huber, 1993). Los animales requieren además ciertos minerales que de acuerdo con los requerimientos son agrupados como macrominerales (Ca, P, K, Na, Cl, Mg, S) y minerales traza (Co, Cu, I, Fe, Mn, Mo, Se, Zn), (INATEC, 2016). El calcio es un componente esencial para los huesos, y participa en la acción regular del corazón y actividad muscular. El fósforo forma parte de la sangre y células del cuerpo; estos dos minerales se encuentran interrelacionados por lo que se requiere un adecuado suministro de cada uno (Giménez, 1994).

## Tipos de Alimentos

Los ovinos son más productivos cuando son alimentados apropiadamente con raciones de acuerdo con sus necesidades nutricionales y preferentemente a un bajo costo (Hamito, 2008), sin embargo, los piensos ya sean comprados o producidos constituyen una parte importante en los gastos de producción (Giménez, 1994). Los ingredientes para la elaboración de alimentos para ovinos deben incluir proteínas, energía, calcio y fósforo (Hamito, 2008). Los nutrientes de los alimentos se encuentran concentrados en base seca y son liberados para que el animal pueda aprovecharlos; para la alimentación de ovinos existen diversos criterios para clasificar los alimentos, uno de ellos es con respecto al contenido de agua el cual los divide en voluminosos y concentrados. Los voluminosos son conocidos así porque ocupan mucho volumen en relación a su valor nutritivo y pueden ser los forrajes como pajas de algunos cereales y los concentrados los cuales poseen un elevado valor nutritivo en relación a su peso e incluye a todos los granos de cereales como el maíz, cebada trigo, sorgo (Figura 7.10A, 7.10B). También para su alimentación existen suplementos minerales y vitamínicos, así como aditivos, los cuales en sí no aportan nutrientes a los animales, pero son utilizadas para mejorarlos, algunos son agentes colorantes, antibióticos, anabólicos, modificadores de la fermentación ruminal, aglomerantes o sustancias que realzan sabores y la palatabilidad (Castellano *et al.*, 2015).

Por otro lado, los alimentos concentrados y suplementos comerciales a menudo son utilizados para complementar pastos, heno y/u otros forrajes. Típicamente las mezclas que componen los concentrados (Figura 7.10C) contienen una fuente de proteína que puede ser por ejemplo la harina de soya, la sal y vitaminas como A, D y E (NRC, 2001), y en el caso de que el nivel de energía y proteínas sea el adecuado de acuerdo con las especificaciones de fabricante puede ser suministrado desde las 2 a 3 semanas de edad (Delano *et al.*, 2002).

**Figura 7.10** Los alimentos concentrados naturales son de elevado valor nutritivo e incluyen a los granos de cereales como, a) maíz, b) cebada



## Aplicaciones biotecnológicas para la producción de piensos

En la actualidad para garantizar la seguridad alimentaria, la elaboración de alimentos balanceados para ganado no debe competir con la alimentación humana (Chaturvedi y Verma, 2013), por lo que la industria dedicada a la producción de piensos está buscando nuevos sustratos que generen mayores beneficios nutricionales a menor costo, mediante la implementación de tecnologías durante la evaluación, procesamiento y uso de nuevos ingredientes. Generalmente un alimento balanceado es producido a partir de productos o subproductos agrícolas como granos, cereales y residuos; además de la adición de micro-ingredientes para elevar los niveles de aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales; así como aditivos para aumentar el crecimiento, evitar enfermedades e incluso la incorporación de probióticos (Villas- Boâs *et al.*, 2002).

Una alternativa podría ser el uso de materiales degradados biológicamente por hongos, antes conocidos como “sustrato gastado”, los cuales son el residuo que queda tras el cultivo de un hongo, y que durante este proceso ha experimentado cambios en su composición. El micelio degrada y/o absorbe los nutrientes del sustrato generando cambios en sus características iniciales como reducción de la lignina, carbohidratos estructurales e incremento de la mineralización (Postemsky *et al.*, 2016). Estos cambios se deben principalmente a que los hongos poseen un sistema enzimático extracelular altamente eficiente; produciendo hidrolasas responsables de la degradación de polisacáridos y otro oxidativo que degrada la lignina (Sánchez, 2009), mejorando así el valor nutricional de estos materiales para la alimentación rumiante (Van Kuijk *et al.*, 2015). Por ejemplo, *Pleurotus ostreatus*, es un hongo de pudrición blanca capaz de colonizar materiales lignocelulósicos (Figura 7.11) (Van Kuijk *et al.*, 2015), su particular desarrollo y crecimiento provoca la acumulación de metabolitos secundarios en general con actividades biológicas importantes que pueden ser aplicados en diversas áreas de la biotecnología (Gomes-Correa *et al.*, 2016); así como para la elaboración de alimentos ya que posee propiedades importantes como: elevado valor nutricional, alta digestibilidad, sabor y propiedades fisiológicas (Smiderle *et al.*, 2012, Lindenfelser *et al.*, 1979), convirtiéndolo en una opción eficaz para este fin ya que de acuerdo con Villas- Boâs *et al.*, (2002) durante los procesos microbianos de conversión de los materiales lignocelulósicos a alimentos, se debe cumplir con por lo menos uno de los siguientes objetivos:

- Aumentar el nivel de proteína.
- Aumentar la digestibilidad.
- Mejorar la palatabilidad del producto seco generalmente combinándolo con otros alimentos con sabor más agradable.

**Figura 7.11** *Pleurotus ostreatus* colonizando paja de cebada (material lignocelulósico)



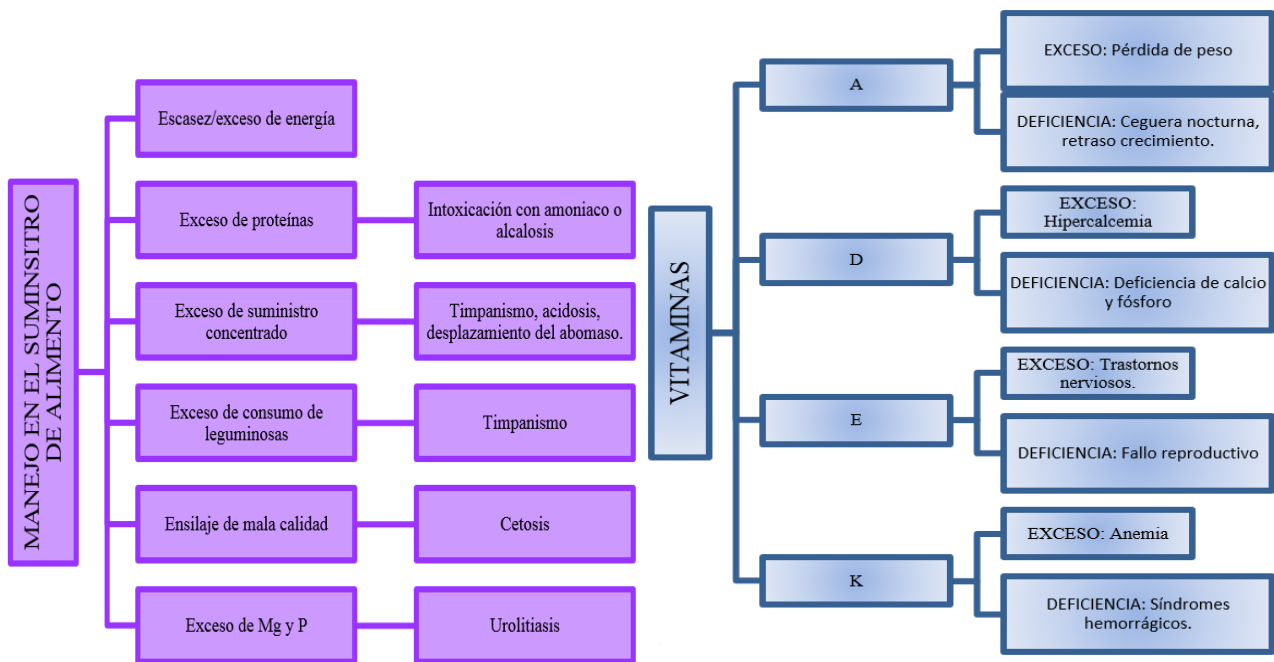


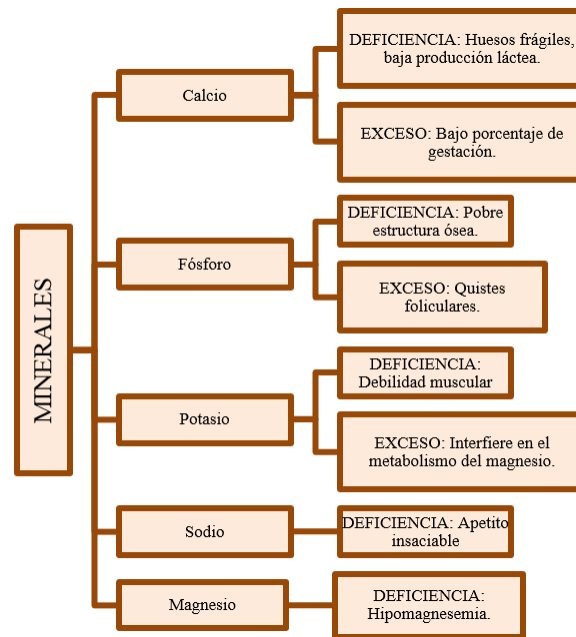
Además de *Pleurotus ostreatus*, se ha reportado el uso de materiales lignocelulósicos pretratados con hongos como *Bjerkandera adusta*, *Ceriporiopsis subvermispota*, *Corprinus fimetarius*, *Dichomitus squalens*, *Ganoderma lucidum*, *Hericium clathroides*, *Inonotus andersonii*, *Inonotus dryophylus*, *Inonotus obliquus*, *Lentinus tigrinus*, *Phellinus laevigatus*, *Polyporus brumalis*, *Polyporus ciliates*, *Trametes gibbosa*, *Lentinus tigrinus*, *Polyporus ciliates*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Phlebia floridensis*, *Phlebia fascicularia*, *Phlebia radiata*, *Pholiota nameko*, *Pleurotus cornucopiae*, *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus sajor-caju*, *Pleurotus sapidus*, *Daedalea guercina*, cultivados sobre trigo, arroz, maíz, palma de aceite, cacao, bambú, caña de azúcar, cedro, abedul y abeto, los cuales se han utilizado para la nutrición de rumiantes (Van Kuijk *et al.*, 2015).

**Enfermedades por alimentación animal**

Los animales pueden experimentar enfermedades ocasionadas por la sobredosis o deficiencia en los nutrientes de las raciones que consumen, incluyendo también las vitaminas y minerales, por lo que el déficit de nutrientes en los alimentos provocará en el ganado: ausencia o disminución del celo, pérdida de peso, disminución del crecimiento, nacimiento de crías débiles e índices elevados de enfermedad y muerte, además de pérdidas económicas (SENACSA, 2014) en la Figura 2.12 se resumen algunos de estos trastornos (INATEC, 2016).

**Figura 7.12** Enfermedades en ovinos por una inadecuada alimentación.





Fuente: Modificado de INATEC, 2016

## Conclusión

Los ovinos, son animales rumiantes y herbívoros capaces de aprovechar los carbohidratos estructurales de pastos y forrajes gracias a una relación simbiótica con bacterias, protozoos y hongos, esta particularidad le demanda una alimentación completa y balanceada que le permite mantener la relación con los microorganismos y al mismo tiempo le proporciona la energía suficiente para sus necesidades fisiológicas. El conocimiento del ganado ovino, su alimentación y producción, así como los avances tecnológicos en el uso de nuevos ingredientes para la elaboración de piensos permitirá el aprovechamiento de residuos como los sustratos degradados por hongos, para obtener mejoras en la nutrición de rumiantes, por los beneficios que estos sustratos presentan.

## Agradecimiento

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada 605069, a la alumna I.I.A. Brianda Susana Velázquez de Lucio para el desarrollo de estudios de Maestría en Biotecnología en la Universidad Politécnica de Pachuca (UPPachuca).

## Referencias

Arteaga C.J.D. (2012). Mensaje institucional en el acto inaugural del VII. Foro Ovino del Estado de México. INIFAP. ICAMEX.

Bores Q.R.F., Vega C.A. (2003). La investigación pecuaria ante los retos y desafíos de la ovinocultura en México. Memorias del Premier Simposium Internacional de Ovinos de Carne. Desafíos y oportunidades para la ovinocultura en México ante los nuevos esquemas de mercado abierto. 17-19 noviembre. Pachuca de Soto, Hgo; 80-95.

Byers F.M., Schelling G.T. (1993). Los lípidos en la nutrición de los rumiantes. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 339-356.

Castellano G.G., Orellana M.C., Escamilla C.J.P. (2015). Manual básico de nutrición y alimentación de ganado ovino. Facultad de ciencias agronómicas. Universidad de Chile pp. 10-13.

- Chaturvedi V., Verma P. (2013). An overview of key pretreatment processes employed for bioconversion of lignocellulosic biomass into biofuels and value-added products. *Biotechnol* 3:415–431. DOI: 10.1007/s13205-013-0167-8
- Church D.C. (1993). Función y producción de saliva. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp.127-135.
- Delano M.L., Mischler S.A., Underwood W.J. (2002). Biology and diseases of ruminants: Sheep, goats, and cattle. *Laboratory animal medicine*. 519-614.
- Fahey G.C. Berger L.L. (1993). Carbohidratos en la nutrición de los rumiantes. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 305-337.
- Ferrell C.L. (1993). Metabolismo de la energía. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 283-303.
- Giménez-Jr DM. (1994). Nutrient Requirements of Sheep and Goats. Alabama A&M and Auburn Universities. Extension Animal Scientis. Obtenido desde: <http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0812/ANR-0812.pdf> en Febrero de 2017
- Gomes Correa R.C., Brugnari T., Bracht A., Peralta R.M., Isabel C.F.R. Ferreira. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends Food Sci Tech*. 50:103-117 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.012>
- Hall M.B. y Eastridget M.L. (2014). Invited Review: Carbohydrate and fat: Considerations for energy and more. *The Professional Animal Scientist* 30:140–149. DOI: [http://dx.doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30101-7](http://dx.doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30101-7)
- Hamito D. (2008). Formulation of rations for sheep and goats. Technical Bulletin No. 6. Ethiopia sheep and goat productivity improvement program (ESGPIP). Obtenido desde: <http://www.esgPIP.org/PDF/Technical%20bulletin%20No.%2016.pdf>, Febrero de 2017.
- Hofman R.R. (1993). Anatomía del conducto gastro-intestinal. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp.15-46.
- Huber J.T. (1993). Las vitaminas en la nutrición de los rumiantes. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 357-371.
- Hybu Cig Cymru / Meat Promotion Wales. (2006). Practical sheep nutrition. Obtenido desde:[http://hccmpw.org.uk/medialibrary/publications/Practical%20sheep%20nutrition\\_1.pdf](http://hccmpw.org.uk/medialibrary/publications/Practical%20sheep%20nutrition_1.pdf), Febrero de 2017.
- INATEC (Instituto Nacional Tecnológico). (2016). Manual del protagonista. Nutrición Animal. Dirección General de Formación Profesional. Nicaragua.
- Krause D.O., Nagaraja T.G., Wright A.D.G., Callaway T.R. (2013). Rumen microbiology: Leading the way in microbial ecology. *J. Anim. Sci*. 91:331–341. DOI: 10.2527/jas.2012-5567.
- Krehbiel C.R., P.A.S. (2014). Invited Review: Applied nutrition of ruminants: Fermentation and digestive physiology. *The Professional Animal Scientist* 30:129–139 DOI: [http://dx.doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30100-5](http://dx.doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30100-5)

Krishnamoorthy U., Muscato T.V., Sniffen C.J., Van Soest P.J. (1982). Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 65:217-225.

Lindenfelser, L.A., Detroy, R.W., Ramstack, J.M. and Worden, K.A. (1979). Biological modification of the lignin and cellulose components of wheat straw by *Pleurotus ostreatus*. *Dev. Ind. Microbiol.* 20:541-551.

Nagaraja T.G. (2016). Microbiology of the Rumen. Chapter 2. Rumenology. *Springer International Publishing Switzerland*. 39-61. DOI: 10.1007/978-3-319-30533-2\_2.

National Research Council. (2001). Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition USA.

Owens F.N., Goetsch A.L. (1993). Fermentación ruminal. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 159-189.

Partida de la Peña J.A., Braña V.D., Jiménez S.H., Ríos R.F.G., Buendía R.G. (2013). Producción de carne ovina. Libro Técnico No. 5. SAGARPA. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Ajuchitlán, Qro. Obtenido desde: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/MANUALES%20INIFAP/Manual%20Produccion%20de%20Carne%20Ovina.pdf> en Febrero de 2017.

Postemsky P.D., López-Castro R.I. (2016). Aplicaciones de sustrato residual del cultivo de hongos en la producción hortícola. *Horticultura Argentina* 35: 44-63

Redondo Cardeña P.A. (2003). Anatomía del aparato digestivo del rumiante. Área de Zootecnia y Producción Animal. INEA (Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Agrícola. Obtenido desde [http://lan.inea.org:8010/web/zootecnia/Zootecnia/Anatomia\\_dig\\_rum.htm](http://lan.inea.org:8010/web/zootecnia/Zootecnia/Anatomia_dig_rum.htm), Febrero del 2017.

Relling A.E. y Mattioli G.A. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Facultad de Ciencias Veterinarias-U.N.L.P. pp 5-6.

Ruckebusch Y. (1993). Motilidad del conducto gastro-intestinal. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 69-115.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2015). Obtenido desde <https://www.gob.mx/sagarpa> en Julio 2017.

Sánchez C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnol Adv.* 27:185–194. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>

SENACSA (Servicio Nacional de Calidad y Salud Animal). (2014). Manual de Producción Ovina. Dirección General de Calidad Animal (DIGECAL). Departamento de ovinocultura. Obtenido desde [http://www.mag.gov.py/dgp/Publicaciones%20recomendadas%20sector%20agrario/Manual\\_ovinos%20Senacsa%202014.pdf](http://www.mag.gov.py/dgp/Publicaciones%20recomendadas%20sector%20agrario/Manual_ovinos%20Senacsa%202014.pdf) en Febrero 2017.

SIAP (Sistema de información agropecuaria y pesquera). (2014). Cierre de la producción pecuaria por Estado 2012. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-produccion-anual> en Julio 2017.

Smiderle F.R., Olsen L.M., Ruthes A.C., Czelusniak P.A., Santana-Filho A.P., Sasaki G.L., Gorin P.A.J., Iacomini M. (2012). Exopolysaccharides, proteins and lipids in *Pleurotus pulmonarius* submerged culture using different carbon sources. *Carbohydr Polym.* 87:368-376. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.063>

Sniffen C.J., O'Connor J.D., Van Soest P.J., Russell J.B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562-3577.

Squires V.R. (1993). Agua y sus funciones, regulación y empleo comparativo por los rumiantes. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 243-253.

Van Kuijk S.J.A., Sonnenberg A.S.M., Baars J.J.P., Hendriks W.H., Cone J.W. (2015). Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: A review. *Biotechnol Adv.* 33: 191–202. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.014>

Van Soest P.J. (1983). Nutritional Ecology of the Ruminant. USA, Oregon: Cornell University. pp. 230-248.

Vega-Pérez C.A. y García-Barrera D.R. (2011). Guía práctica para pequeños productores ovinos. Proyecto Alianza Ovina con la Asociación de Productores Ovinos del Tundama y Sugamuxi "ASOPROVINOS". Fundación Social de Holcim Colombia. Editorial Jotamar Itda. Tunja. Obtenido desde: [http://www.fundacionsocialholcimcolombia.org/OVINOS\\_Guia-Practica.pdf](http://www.fundacionsocialholcimcolombia.org/OVINOS_Guia-Practica.pdf) en Febrero 2017

Villas-Boâs S.G., Esposito E., Mitchell D.A. (2002). Review. Microbial conversion of lignocellulosic residues for production of animal feeds. *Anim Feed Sci Tech.* 98:1-12. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00017-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00017-2).

Welch J.G., Hooper A.P. (1993). Ingestión de alimentos y agua. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 117-126.

Yokoyama M.T., Johnson K.A. (1993). Microbiología del rumen e intestino. El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. España. pp. 137-157.