



---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM AMECAMECA  
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“EFECTO DE ADICIÓN DE PROPIONATO DE CALCIO EN LA DIGESTIBILIDAD  
DE OVINOS EN FINALIZACIÓN”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

YORS FILIBERTO GONZÁLEZ JÀCOME

ASESOR.

DR. PEDRO ABEL HERNÁNDEZ GARCÍA

COASESOR

DR. CAMILO ROMERO NUÑEZ

AMECAMECA, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO DEL 2018.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. La producción ovina .....	3
2.2. Producción de ovinos a nivel mundial .....	3
2.3. Consumo de carne en América Latina .....	4
2.4. La ovinocultura en México.....	5
2.5. Producción estatal de ovinos.....	8
2.6. Razas de ovinos en México.....	9
2.7. Producción intensiva de los ovinos.....	10
2.8. Generalidades de los rumiantes.....	11
2.9. El crecimiento ovino .....	16
2.10. Alimentación en las unidades intensivas de ovinos.....	16
2.11. Principales componentes de los alimentos.....	17
2.11.1. Agua.....	17
2.11.2. Materia seca.....	18
2.11.3. Proteína.....	18
2.11.4. Grasas.....	19
2.11.5. Carbohidratos.....	19
2.11.6. Vitaminas.....	20

2.12.	Efecto del nivel del grano en la ración .....	22
2.13.	Acidosis láctica.....	23
2.14.	Buffers del rumen (amortiguadores).....	24
2.15.	Importancia de los buffers en los alimentos. ....	25
2.16.	Masticación y secreción de saliva.....	26
2.17.	Carbohidratos.....	27
2.18.	Carbohidratos estructurales .....	29
2.18.1.	Celulosa .....	30
2.18.2.	Hemicelulosa .....	31
2.19.3.	Lignina .....	32
2.20.	La fibra en la función ruminal .....	33
2.21.	Carbohidratos de los granos .....	34
2.22.	Propiedades del almidón.....	36
2.23.	Metabolismo de los lípidos. ....	38
2.23.1.	Lipólisis.....	39
2.24.	Digestibilidad.....	39
2.25.	Digestibilidad de los granos .....	40
2.26.	Productos de la fermentación de los carbohidratos solubles .....	41
2.27.	Factores que afectan la digestibilidad de los granos en el rumiante .....	42
2.28.	Enzimas amilolíticas.....	42

2.29.	Ácidos grasos volátiles.....	43
2.29.1.	Acético.....	47
2.29.2.	Propiónico.....	48
2.29.3.	Butírico.....	50
2.30.	Gluconeogénesis.....	51
2.31.	Precursores de glucosa.....	52
2.32.	Utilización de gluconeogénicos en la alimentación de los rumiantes. ....	53
2.33.	Propionato de calcio en rumiantes.....	54
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>57</b>
<b>4.</b>	<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.</b>	<b>OBJETIVOS PARTICULARES.....</b>	<b>58</b>
<b>5.</b>	<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>59</b>
<b>6.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>60</b>
<b>7.-</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>65</b>
<b>8.-</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Países que tienen el mayor número de cabezas de ovinos en el mundo	4
Figura 2. Consumo per cápita de carne en América. ....	5
Figura 3. Cabezas de ovinos a nivel nacional . ....	7
Figura 4. Producción mensual de carne de ovino en canal, en 2015. ....	8
Figura 5. Los dos municipios con mayor número de cabezas de ganado ovino en el Estado de México y el municipio de Amecameca .....	9
Figura 6. Clasificación de microorganismos ruminales .....	14
Figura 7. Precio del maíz en grano en México . ....	21
Figura 8. Clasificación de los carbohidratos no azúcares .....	28
Figura 9. Clasificación de los carbohidratos azúcares .....	29
Figura 10. Estructura química de la celulosa. ....	30
Figura 11. Estructura química de la lignina. ....	33
Figura 12. Porcentaje de almidón con base en la materia seca de diversos granos.....	35
Figura 13. Estructura química del almidón.....	37

Figura 15. Síntesis de los principales metabolitos en el rumen a partir de glucosa .....	46
Figura 16. Ruta de formación del propionato. ....	49
Figura 17. Síntesis de la glucosa.....	52
Figura 18. Localización del lugar en donde se realizó el experimento. ....	60
Figura 19. Efecto de digestibilidad de la materia Seca por la inclusión de propionato de calcio en dietas de finalización de ovinos. ....	68

## **ÌNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Factores que contribuyen al efecto buffer (tampón) en el rumen.. .....	26
Cuadro 2. Polisacáridos la hemicelulosa. ....	31
Cuadro 3. Porcentaje de inclusión de concentrado en la dieta experimental.....	62
Cuadro 4. Efecto de propionato de calcio en la respuesta productiva de ovinos en finalización.....	64

## **AGRADECIMIENTOS**

A dios porque me dio una nueva oportunidad de lograr mis sueños y con ello concluir mis metas.

A mis padres porque pese a todo ellos siempre has estado presentes brindándome su apoyo comprensión y amor.

Al Dr. Pedro Abel H. G. por el apoyo brindado en todo este tiempo trancurrido durante este proceso.

## **DEDICATORIAS**

A mis padres como gratificación y de esta manera darles las gracias por haberme dado educación, un hogar donde crecer, equivocarme, desarrollarme, aprender día a día y donde forme los valores que hoy definen mi vida.

## RESUMEN

El principal objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del 1 % de propionato de calcio (Pr Ca) por la sustitución del 5 % de grano en el balanceo de la ración para ovinos y con ello analizar el comportamiento productivo de los ovinos alimentados con la dieta de finalización, el cual se realizó en la Posta Zootécnica del Centro Universitario UAEM Amecameca, Estado de México. Siguiendo un diseño completamente al azar, se emplearon 18 ovinos machos criollos de  $25.05 \pm 5.0$  Kg de peso vivo los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en dos tratamientos a) dieta control con 83 % de grano + melaza. b) Dieta experimental con 1 % de Propionato de Calcio con 78 % de grano. Se observó que el uso de propionato de calcio mantiene las variables como el peso final, consumo de alimento, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, consumo de agua y digestibilidad ( $P>0.05$ ). Por tal motivo se concluye que el uso de 1 % de propionato de calcio puede sustituir el 5 % de grano en la dieta para ovinos en finalización sin alterar significativamente la respuesta productiva dando las mismas variables que una dieta convencional para ovinos en finalización.

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido al creciente aumento de la población humana y al rápido desarrollo de los sistemas de producción pecuaria, la demanda de los granos es cada vez mayor, por tal motivo se ha hecho necesario buscar fuentes de energía no convencionales como es el uso de precursores gluconeogénicos, tales como glicerol, propilenglicol, así como el propionato de calcio usados en la alimentación de los rumiantes, estos factores aunados a los cambios socio-económicos y de mercado que causan variaciones en las bases de producción animal tradicionales (Lee-Rangel, 2011). Ya que la FAO reporto que a partir del año 2008 el incremento en valor de los insumos alimenticios utilizados para la producción animal, ha sido superior al 200 % generando un impacto significativo en los costos de producción (FAO, 2014).

Los rumiantes son capaces de aprovechar los nutrientes presentes en los granos así como en los forrajes, debido a la actividad de los microorganismos que contienen en el rumen, ya que esta población microbiana libera enzimas que fermentan los carbohidratos que los conforman (Zinn *et al.*, 2002). Por otra parte un aspecto limitante en la rentabilidad de los sistemas de producción animal son los costos de la alimentación y en particular, el suministro de energía. Tal es el caso de los cereales empleados en la alimentación animal, siendo los granos los que aportan principalmente las fuentes energéticas para los rumiantes (Lee-Rangel, 2011).

En México es indispensable la generación de sistemas de producción rentables y sostenibles, ya que es necesario buscar alternativas de alimentación animal e implementar técnicas que mejoren la producción y reduzcan el gasto en la alimentación sin afectar el balance nutricional de los rumiantes (Mejía *et al.*, 2011). Debido a que las unidades de producción intensiva, las cuales se encuentran en confinamiento, se han visto afectados por el incremento en el precio de insumos para la elaboración de dietas principalmente en concentrados (cereales, granos). Al ser un sistema en cual se les proporciona una dieta,

elaborada con forrajes y granos (rastrojo de maíz, sorgo, pasta de soya, melaza) (Macedo y Castellano, 2004). En el caso de las dietas para ovinos en finalización; por lo general son altas en el contenido de concentrados del 60 a 95 %, donde los principales cereales utilizados en corrales de engorda son el maíz y sorgo (Mendoza y Ricalde, 2017). Por ese motivo la producción se vuelve demasiado onerosa y poco rentables debido al elevado precio de estos granos (Macedo y Castellano, 2004).

Dentro de las alternativas se encuentren los aditivos como es el caso de los gluconeogénicos, como el propionato de calcio, ya que existen evidencias, que, al incluirse en la alimentación de ovinos, permite parcialmente remplazar el grano de las dietas, resultando un aditivo oportuno para la producción ovina (Lee *et al.*, 2012). La adición de propionato de calcio en las dietas integrales de los ovinos en finalización, en donde las pocas unidades de producción existentes en la región dedicadas a la cría y engorda de ovinos, balancean sus dietas de sus unidades de producción, con altos porcentajes de grano, principalmente maíz y sorgo, ya que estos son granos de gran competitividad, además de que su precio es elevado.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. La producción ovina**

La producción ovina constituye una de las fuentes para satisfacer las demandas calóricas y proteicas del ser humano, representa el 8% de la producción de carne mundial, brinda además una variada gama de productos como leche, lana, carne, piel entre otros, de económica explotación, fácil manejo y buena adaptabilidad (Figueredo, 2005).

### **2.2. Producción de ovinos a nivel mundial**

A nivel mundial la producción de ovinos generalmente se ha desarrollado bajo sistemas de pastoreo; lo cual ha proporcionado a los productores gran ventaja económica por el ahorro en los costos de alimentación, ya que este sistema genera la mejor relación costo/beneficio, además brinda algunas ventajas comparativas a la calidad de la carne, pero a su vez son muy susceptibles a las variaciones climatológicas estacionales (FAO, 2016). Las tendencias en el contexto mundial, indican que la producción de cordero se mantendrá estable en los próximos años, pero se prevé un aumento en el precio por que habrá mayor demanda, sobre todo en los países en vías de desarrollo (FAO, 2015).

Las estimaciones indican que el grupo E7 compuesto por China, India, Brasil, Indonesia, México y Turquía tendrán en el 2050 (Figura 1), un poder adquisitivo de 75% mayor que el que tienen actualmente el grupo G7, compuesto por Estados Unidos, Japón, Alemania, Inglaterra, Francia, Italia y Canadá. China ocupa el primer lugar en producción de ovinos a nivel mundial seguido de Australia, India, Irán y Sudan. México ocupa el lugar número 39 a nivel mundial con un total de 9,377,000 cabezas de ovinos en el año 2016 (Hawksworth, 2006).

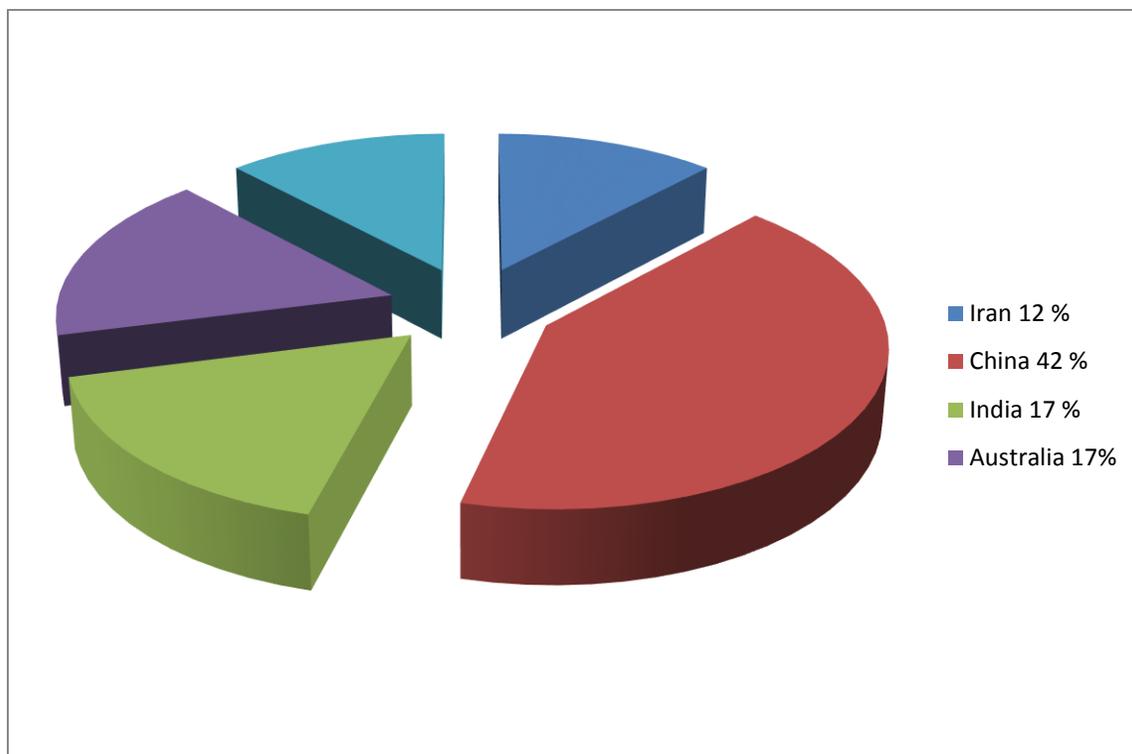


Figura 1. Países que tienen el mayor número de cabezas de ovinos en el mundo (FAO, 2015)

### 2.3. Consumo de carne en América Latina

La producción ovina ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de la humanidad, al proporcionarle al hombre productos indispensables para su alimentación y vestido. Datos obtenidos de SAGARPA reporta que, en México, los índices de consumo de carne por persona (res, cerdo, ave, ovina y caprina en conjunto) para 1970 fue de 23 kg; ya que para el año 1990 se mantuvo de 34 kg y en la actualidad es de 63 kg. Con lo cual se deduce un aumento en el poder adquisitivo de la población durante este periodo analizado, por otra parte, México, ocupa el sexto lugar en el consumo de carne de todas las especies, aunque el consumo de carne de ovino y caprino per capital es de 0.8 kg por año en América (Figura 2; SAGARPA, 2014).

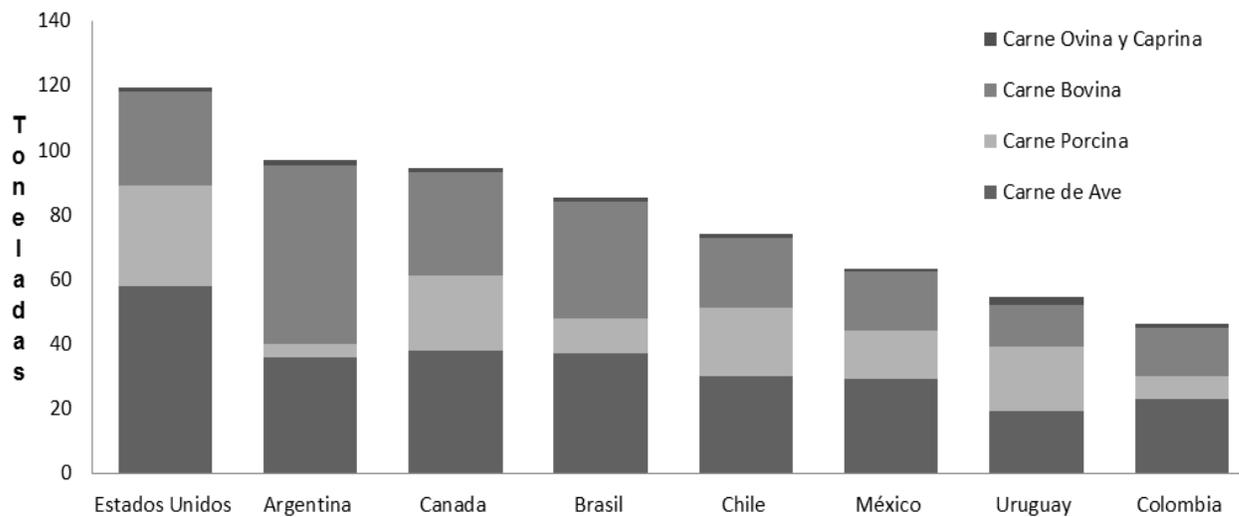


Figura 2. Consumo per cápita de carne en América (SAGARPA, 2014).

En México la mayor parte de la carne de ovino es consumida en forma de barbacoa, el cual es un platillo típico del centro de México, este consumo de barbacoa es alrededor de 1000g por habitante al año (ICAMEX, 2013). No obstante, la demanda de la carne ovina ha ido en aumento, lo que implica una mayor dependencia a las importaciones, con el efecto que esto causa en el incremento del costo de la carne ovina, ubicándola en el mercado, alrededor del doble del precio en comparación de la carne de res (Mendoza *et al.*, 2007).

## 2.4. La ovinocultura en México

Las primeras razas de ovinos en México, fueron introducidas por los españoles durante la época de la conquista, aproximadamente en 1525, e históricamente han reportado que los ovinos fueron embarcados de los puertos de Sevilla, Cádiz y de las Islas Canarias a las Islas del Caribe, para posteriormente ser transportados al continente Americano, se piensa que las primeras razas introducidas fueron la Lacha, Churra y Manchega (Ulloa *et al.*, 2009).

La ovinocultura en México se ubica prácticamente a lo largo de todo el territorio nacional, esta se encuentra enfocada a la producción de corderos para abasto y pie de cría, la cual, se localiza en el centro y sur del país, desarrollándose principalmente bajo sistemas de pastoreo tradicionales, con escasa tecnología y con una productividad limitada (PROGRAN, 2015). Se tienen registradas en México alrededor de 53, 000 unidades de producción ovina que están distribuidas en el país en diferente proporción: 53 % en el centro donde se produce carne y pieles con razas de lana; 24 % en el sur-sureste donde la producción de carne se obtiene mediante razas de pelo (Pelibuey, Black Belly, Katahdin y Dorper), por encima de las circunstancias algunas unidades producen lana para uso artesanal con animales criollos, especialmente en los estados de Oaxaca y Chiapas, y finalmente el 23 % en el norte de México donde la producción de la carne es el esencial objetivo por lo que se han incluido razas de pelo, en la década de los noventa la zona norte fue el principal proveedor de lana por lo que a un se mantiene una población de ovinos de lana específicamente de la raza Rambouillet (PROGRAN, 2015).

Los principales estados productores de ganado ovino (cabezas) en México son; Estado de México, Hidalgo, Veracruz, Chiapas y San Luis Potosí principalmente (SIAP, 2014), ya que en México existen diversos sistemas de producción, los cuales se clasifican en extensivos o de pastoreo, intensivos, semi-intensivos y mixtos, además a la vez los sistemas de producción intensivos pueden ser tecnificados, ya que a los de pastoreo también se les conoce como de traspatio (familiares), estos se encuentran definidos por regiones y tipos de clima de la república, pero principalmente lo que los distingue a unos sistemas de otros es el tipo de alimentación que se les proporciona a los ovinos (Sere y Steinfeld, 1996). El sistema de producción en donde su conformación es tecnificada y a su vez se le denomina empresarial, donde se busca que la producción del rebaño sea rentable, mediante la utilización de tecnología avanzada, inversión y asesoría profesional, por lo tanto tienen un mayor índice de productividad es decir un

inventario de animales en proporción a las toneladas de carne producidas, este modelo de sistemas de producción ovina en mayor proporción se encuentran en los estados de Veracruz, Zacatecas, Estado de México, Jalisco (Arteaga, 2006).

Cabe destacar que la producción de ovinos en el Estado de México, aporta 1,326,982 ovinos, situándose en el primer estado productor de ovinos, seguidos de Hidalgo, con una producción de 1,162,556, ocupando el segundo lugar en el año 2012, seguidos de Veracruz, Oaxaca y Puebla (Figura 3; SIAP, 2014). En el Estado México se concentra aproximadamente el 85 % del total de carne consumida y el resto se aprovecha en los demás estados de la república y se estima que, de la última producción total, el 90 % se consume en forma de barbacoa y solo el 10 % se prepara en diversos platillos conocidos localmente de forma distinta como cordero al pastor, cordero al ataúd, mixiotes, birria de borrego, cordero lechal y cordero como sustituto de cabrito (Partida, 2013).

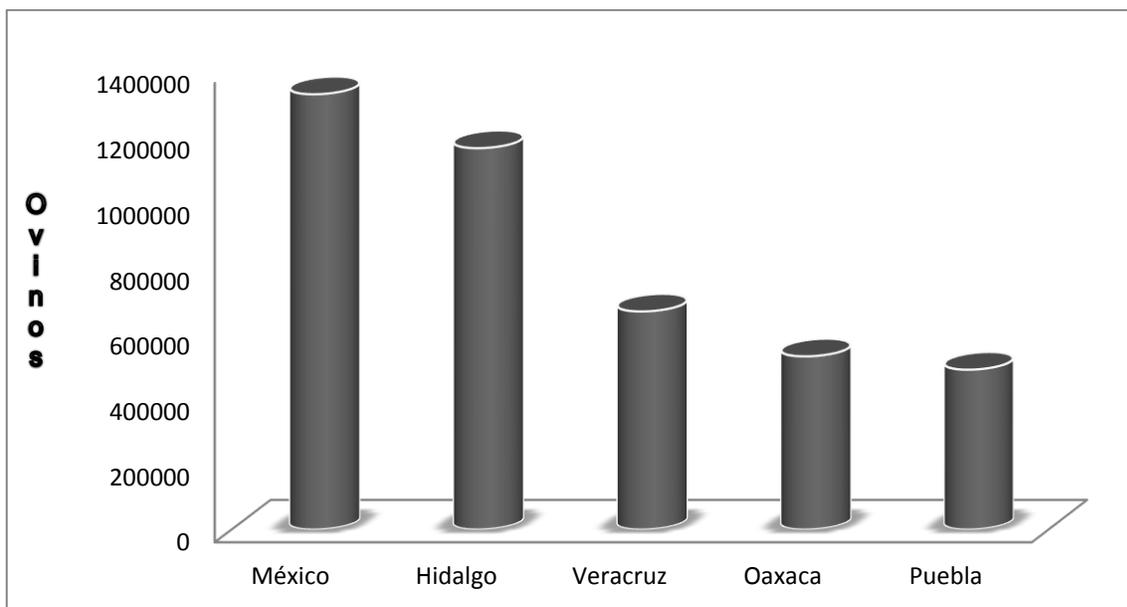


Figura 3. Cabezas de ovinos a nivel nacional (SIAP, 2014).

## 2.5. Producción estatal de ovinos.

La producción de carne en canal en el Estado de México para el 2014, se generó mensualmente (Figura 4), en el mes de enero a junio presento variaciones en la producción de carne de ovino en canal, sin embargo a partir del mes de julio a noviembre, la producción se mantuvo constante, teniendo un rango que va desde las 766 hasta las 771 toneladas, con un alza en el mes de diciembre de 883 toneladas (SIAP, 2015), esto debidamente inducido por el incremento del consumo de carne, por las fiestas de cenbruna en el mes de diciembre.

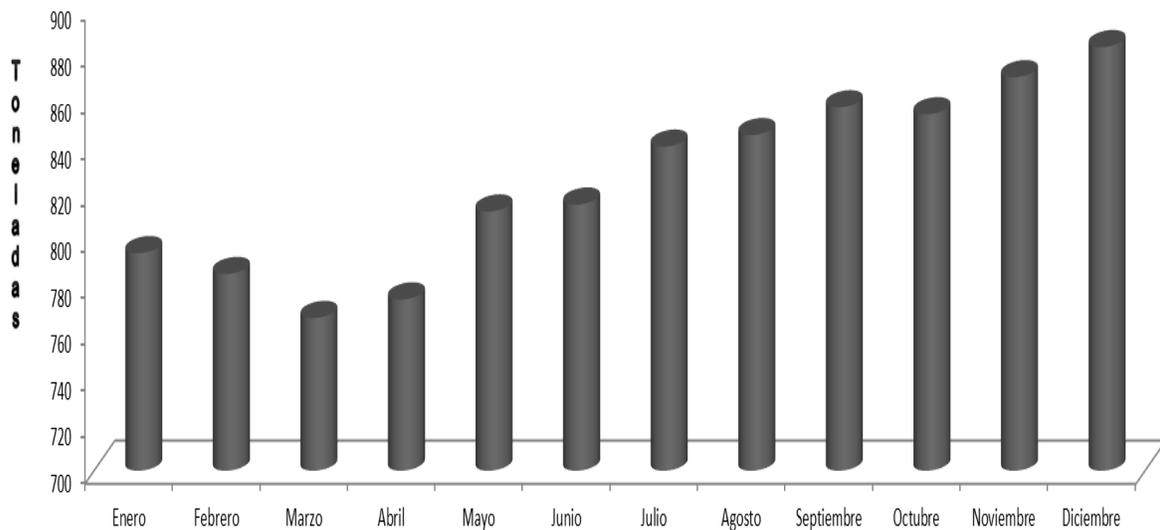


Figura 4. Producción mensual de carne de ovino en canal, en 2015 (SIAP, 2015).

Destacando que el municipio Villa Victoria cuenta con un total de 56,226 cabezas de ganado ovino siendo el principal productor de ganado ovino, seguido por el municipio San Felipe del Progreso con un total de 47,909 cabezas de ganado ovino (Figura 5). El municipio de Amecameca se encuentra dentro del resto de los municipios productores con un total de 1,852 cabezas de ganado ovino (INEGI, 2016).

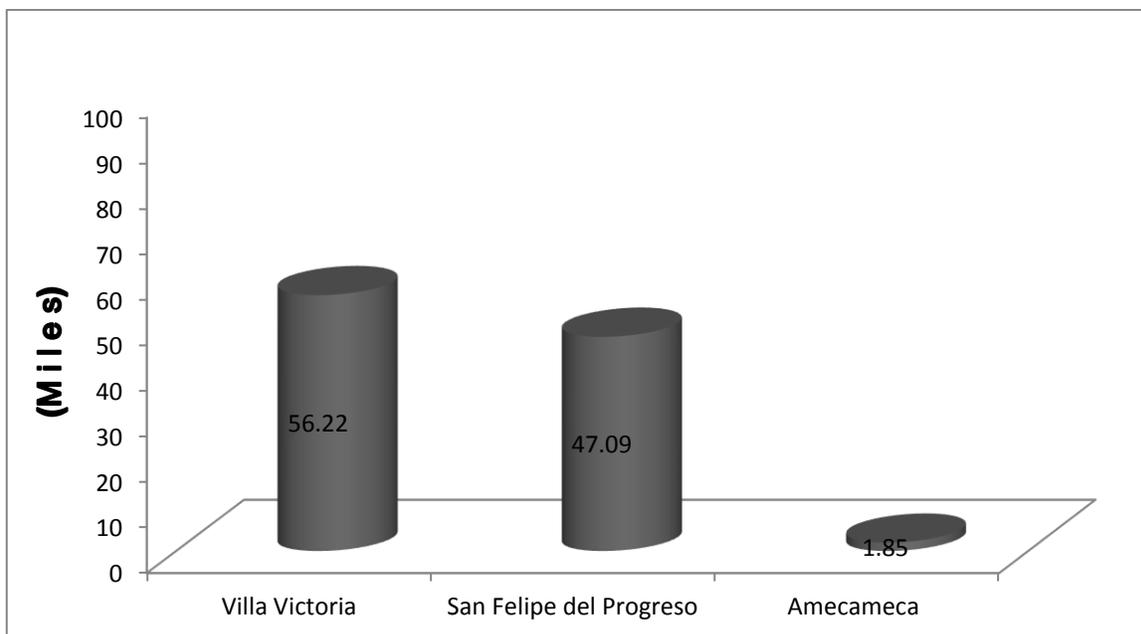


Figura 5. Los dos municipios con mayor número de cabezas de ganado ovino en el Estado de México y el municipio de Amecameca (INEGI, 2016).

## 2.6. Razas de ovinos en México

En México la cría de los ovinos ha formado parte de la cultura de los productores del campo; la industria ovina a lo largo de los años ha cambiado en función de la distribución de la tierra y de los objetivos de producción; sin embargo, en las últimas décadas, la producción de ovinos en el país, tomó un nuevo impulso con la participación de las razas de pelo que se desarrollan en regiones sin tradición borreguera y con grandes rebaños (Arteaga, 2008).

Las principales razas producidas en México son: Rambouillet, Dorset, Hampshire, Suffolk, Katahdin, Pelibuey, Black Belly, Saint Croix y Dorper. Otros con poblaciones menores son la Romanov, Texel, Charolais, East Friesian, Lle de France y Damara. A raíz del crecimiento de la industria ovina en México, los criadores nacionales trabajan intensamente en el mejoramiento genético de las distintas razas, lo que permite tener actualmente una excelente calidad genética (Arteaga, 2008).

El potencial productivo de las razas desarrolladas, su condición sanitaria, la disponibilidad de razas para climas tropicales y subtropicales, además de una serie de factores que hacen posible la adaptabilidad en una diversidad de climas, ha llevado a nuestro país a colocar en el mercado internacional, excelentes ejemplares Mexicanos (Arteaga, 2008).

## **2.7. Producción intensiva de los ovinos**

Es primordial en las unidades productivas de finalización de corderos engordarlos en corrales con propósito de mejorar la calidad de la carne; obtener excelentes conversiones alimenticias, balanceando las dietas de acuerdo a sus requerimientos nutricionales, los sistemas de alimentación en corrales se diseñan principalmente para obtener un mejor desarrollo de los corderos durante los últimos 60 a 90 días antes del sacrificio (Kawas, 2005).

Continuamente se han implementado sistemas de engorda intensivos basados en cantidades de granos (70-95%), por lo tanto, reducidas cantidades de forraje, las cuales presentan rendimientos productivos favorables, considerando la posibilidad de obtener ganancias de peso de 200 g/día o superiores, dependiendo de la raza, el clima y el régimen de alimentación (Medrano, 2000).

México se caracteriza por que la ovinocultura cuenta con sistemas de producción de pequeñas explotaciones en mayor proporción, dirigidas por productores rurales y con bajos niveles de tecnologías modernas y escasos accesos a insumos (Mendoza *et al.*, 2007).

## 2.8. Generalidades de los rumiantes

El ovino doméstico (*Ovis aries*), es un mamífero perteneciente al orden de los artiodáctilos, suborden *Ruminantae*, familia *Bovidae* y tribu *Caprine*, el género *Ovis* está dividido en siete especies, identificadas con su lugar de origen (Michalet Doreau *et al.*, 2001).

Tomado en cuenta el punto de vista evolutivo los pequeños rumiantes esencialmente los ovinos, se consideran especies del reino animal con mayor desarrollo del sistema digestivo en comparación con la mayoría de las especies utilizadas en la producción animal (Tamminga y Williams, 1998).

La particularidad anatómica de los ovinos específicamente la compartimentación del tracto digestivo y fermentación pre gástrica más desarrollada que condujeron a una relación simbiótica del animal hospedero y el ecosistema microbiano fue resultado de la requerida adaptación a los medios de pastoreo determinada por la misma evolución (Ensminger *et al.*, 1990). El ecosistema ruminal comprende una diversidad en la población de bacterias, hongos y protozoos (Forsberg y Cheng, 1992). Los microorganismos del rumen actúan en simbiosis con el animal de residencia y se adaptan para sobrevivir en condiciones de anaerobiosis a altos ritmos de dilución, elevadas densidades de células y la predación de los protozoarios, y que han desarrollado la capacidad para la utilización eficiente de las estructuras vegetales como la celulosa y hemicelulosa, además de carbohidratos simples como el almidón presente en los cereales, estos mismos microorganismos producen enzimas que intervienen activamente en el proceso de la degradación del material alimenticio por lo que, los rumiantes son el medio idóneo para transformar fuentes de alimento de bajo valor nutricional para el hombre en productos de gran valor biológico (Ensminger *et al.*, 1990).

El rumen es el compartimiento digestivo esencial para los rumiantes, en el proceso de la digestión este órgano tiene dos funciones básicas; primero el de producir energía a partir de fuentes de carbohidratos, que de otra forma no estarían disponible para el animal y de fijar nitrógeno no proteico de manera que pueda ser utilizado por el animal como es el caso de la proteína microbiana, estas funciones son llevadas a cabo por la microflora y microfauna mediante la acción conjugada de todos los microorganismos que conviven en el ecosistema ruminal y los respectivos mecanismos de degradación alimento (Moss *et al.*, 2000).

La estrategia alimentaria de los rumiantes se basa en la simbiosis establecida entre los microorganismos ruminales y el animal. Mientras el rumiante aporta alimentos y las condiciones adecuadas del medio (temperatura, acidez, anaerobiosis, ambiente reductor), las bacterias utilizan parcialmente los alimentos haciendo útiles los forrajes (de otra forma indigestible para los mamíferos no rumiantes) y aportando productos de la fermentación con valor nutritivo para el rumiante (los ácidos grasos volátiles) y la proteína microbiana (Michalet Doreau *et al.*, 2001).

Los conocimientos de los mecanismos de la digestión en el rumen y en particular de aquellos relacionados con la degradación de los polisacáridos de la pared celular de las plantas que requieren de un estudio importante del ecosistema microbiano (Michalet Doreau *et al.*, 2001).

La digestión inicia con el proceso de masticación de los alimentos ingeridos reduciendo el tamaño de las partículas exponiendo una mayor superficie a la acción de los microorganismos en el rumen, el alimento es masticado intensamente durante la rumia, el animal regurgita bolos de alimentos masticables 50-60 veces en 40-50 segundos, antes de pasar a una digestión por los jugos gástricos. Así la posibilidad de ingerir los alimentos, digerirlos, asimilarlos y excretar los residuos no asimilables viene dada por una serie de actividades que se realizan fundamentalmente en el sistema digestivo tales como: mecánica (prensión, masticación, deglución, regurgitación, motilidad gástrica e intestinal y defecación), secretoria (actividad de glándulas digestiva), química (acción de

enzimas) y microbiológicas que es basado principalmente en la acción de bacterias y protozoos que viven en el tracto digestivo (Sáenz, 2007).

En el rumen y retículo el alimento es sometido al ataque de microorganismos (bacterias, hongos y protozoarios), las bacterias poseen enzimas capaces de digerir las celulosa y la hemicelulosa, los productos de su digestión son los ácidos grasos volátiles que son absorbidos por las paredes del rumen, además los microorganismos degradan las proteínas del alimento para incorporarlas en su propio organismos, sintetizan vitaminas y luego son absorbidas por el animal al digerirlas (Orskov *et al.*, 1988).

Dentro del rumen las bacterias *Aamilolíticas* y *Dextrinolíticas* (Figura 6) más comunes que existen son: *Bacteroides Amylophilus*, *Streptococcus Bovis*, *Succinimonas Amylolytica* y *Succunuvibrio Dextrinosolvens* y de las bacterias *Sacarolíticas* las *Selenomonas Ruminantium* son las más representativas (Dijkstra y Tamminga, 1995).

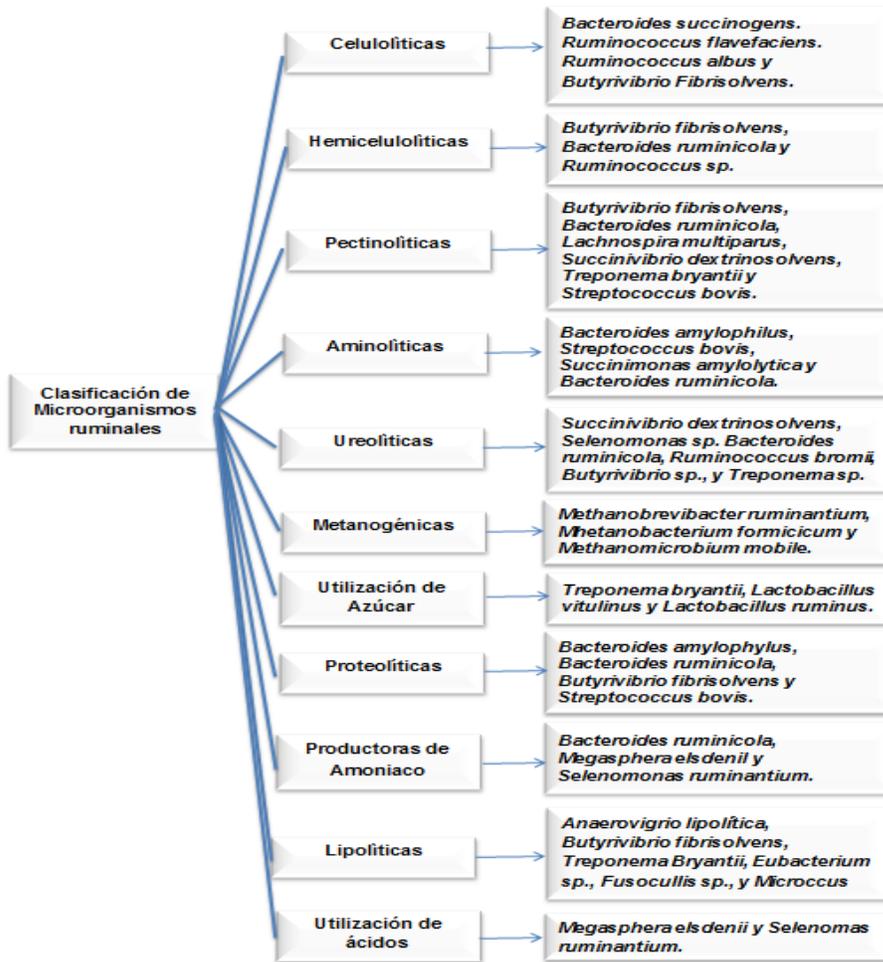


Figura 6. Clasificación de microorganismos ruminales (Rusell y Gahr, 2000).

Dependiendo de su digestibilidad del alimento las partículas de fibra se quedan en el rumen-retículo de 20 a 48 horas por que la fermentación bacteriana es un proceso lento y pasa una vez que ha sido reducido suficiente de tamaño al omaso en donde se absorbe el agua así como ácidos grasos. El metabolismo de los carbohidratos, por ejemplo: la celulosa, hemicelulosa, almidón de las plantas y granos se lleva a cabo por los microorganismos ruminales que al metabolizarlos suministran, energía, aminoácidos y vitaminas que requieren el animal simbiótico (Owens y Goetsch, 1988). Dando lugar a un gran volumen de enzimas que intervienen; activamente en el proceso de degradación del alimento (Yokohama y Johnson, 1993). La cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido ruminal es de 25, 000 a 50, 000 millones por ml en promedio, además se han identificado

unas 35 especies de protozoarios ciliados, con aproximadamente de 20, 000 a 500, 000 por ml, la mayoría de las especies de protozoarios ingieren bacterias, así como también, partículas de alimento; finalmente los microorganismos pasan al abomaso y a los intestinos para ser digeridos por las enzimas que produce el hospedador y le proporciona nutrientes a éste (Church *et al.*, 2002). Cuando esta relación simbiótica se altera como consecuencia de cambios en la ración o por la presencia de sustancias no deseadas, se produce un desequilibrio en la población microbiana ruminal que conduce a la aparición de alteraciones patológicas, entre las que la acidosis y el meteorismo son las más importantes (Calsamiglia y Ferret, 2002).

El acceso de las enzimas digestivas en los nutrientes de las plantas, es medido con base en la proporción de las características de estas mismas; en cuanto a su estructura composición y técnicas de procesamiento empleadas, la masticación, salivación y rumia por parte de los animales son procesos que empiezan a acondicionar la liberación de nutrientes, además de que incrementan su disponibilidad a dichas enzimas digestivas microbianas. La variedad de enzimas presentes en el rumen está dada no solo por la diversidad de la flora microbiana, también por múltiples enzimas especializadas en la degradación del alimento, que se producen individualmente en cada microorganismo (Doener White, 1990). Han propuesto un modelo celular, con el objeto de describir el sistema de las enzimas amilolíticas, siguiendo la síntesis y secreción basal; este señala que las enzimas actúan individualmente y sinérgicamente para poder llevar a cabo la síntesis del almidón (Bhat y Hazlewood, 2001).

La extracción de nutrientes del alimento se da por dos procesos, primero el proceso de digestión caracterizado por el desdoblamiento de los nutrientes complejos para transformarlos en moléculas simples; segundo el proceso de absorción por el cual se transportan aquellas moléculas simples a través del epitelio intestinal. Esto es el resultado de fenómenos bioquímicos diferentes que ocurren dentro del intestino necesario para la asimilación de los nutrientes hacia el interior del cuerpo. (McDonald *et al.*, 1995).

## **2.9. El crecimiento ovino**

El crecimiento es uno de los fenómenos más importantes en la práctica ganadera, como así mismo es de suma importancia en la ovino cultura. Evaluando el plano nutricional, las hormonas, las vitaminas y los antibióticos estos son factores que influyen en la ganancia diaria de peso después del nacimiento, el crecimiento es normalmente medido como la ganancia diaria de peso valorado cada semana, que es expresado en kg de peso vivo. El crecimiento disminuyendo su ritmo a medida que la madurez fisiológica se aproxima, para así finalmente establecer un peso de acuerdo a las características de fenotípicas de cada raza ovina (Figueredo, 2005).

El crecimiento o desarrollo fisiológico también se determina como el aumento de peso hasta que el animal alcanza el tamaño adulto, lo que se puede medir mediante la curva de crecimiento, y esta a su vez se obtiene, calculando el incremento de tamaño en porcentaje y la ganancia de peso vivo dividido por la unidad de tiempo, pero también se pueden usar otras unidades de medida para obtener la curva del crecimiento, tales como calcular la altura y la longitud del animal, estas medidas resultan frecuentemente más valiosas que la medida del peso vivo; una combinación del cálculo del peso vivo y las medidas de tamaño (altura y longitud), demuestra que el animal puede continuar creciendo en tamaño permaneciendo constante su peso corporal (Figueredo, 2005).

## **2.10. Alimentación en las unidades intensivas de ovinos**

En los últimos años la investigación de diversas alternativas en alimentación para los rumiantes se ha incrementado exponencialmente, tales como la selección de granos y forrajes de mayor valor nutricional y alternativas de complementos en las dietas que mejoren la producción (Bañuelos *et al.*, 1995).

En los sistemas pecuarios intensivos, los animales están separados de la tierra o de los pastizales que constituye la base de suministro de alimentos y de eliminación de desechos, dichos sistemas dependen de suministros externos de alimento, energía y otros insumos (Sere y Steinfeld, 1996), donde la alimentación principalmente está basada en el uso de concentrados en granos para el engorde intensivo (Mendoza *et al.*, 2007).

## **2.11. Principales componentes de los alimentos**

### **2.11.1. Agua**

Sin ser una sustancia nutritiva, los animales no pueden vivir sin consumirla y lo hacen muy dificultosamente cuando poseen cantidades insuficiente de ella ya que tienen una importancia en la asimilación de los nutrientes en el organismo, transporte de nutrientes, mantiene constante la temperatura de cuerpo, pueden obtenerla, de alimentos, del agua de bebida y aquellas que se libera constantemente de las reacciones químicas del organismo (Méndez *et al.*, 1974). El porcentaje de agua en los alimentos varía grandemente, en los alimentos secos pueden estar contenidos de 6-10% y en los más húmedos hasta en un 90%. El consumo de agua puede estar afectado por el tipo de alimento consumido, temperatura ambiental, estado fisiológico y tipo de animal, presencia de lluvia, rocío. Se establece que el consumo de agua está dado con la relación 1:1 entre kg de agua por kg de materia seca ingerida y que el rango de consumo esta de 2 a 4 kg de agua por oveja al día (Méndez *et al.*, 1974).

### 2.11.2. **Materia seca**

Es la parte que contienen los alimentos después de haberles extraídos la mayor cantidad de agua que los componen, en ella se encuentran los nutrientes si a esta parte de los alimentos se somete a altas temperaturas, quedando una porción que se quema que son los compuestos orgánicos, y otra queda en forma de cenizas que son los compuestos inorgánicos (Méndez *et al.*, 1974).

Los compuestos orgánicos (proteína, grasas, carbohidratos y vitaminas) se consideran los principales nutrientes para los animales, pero no los únicos, pues los inorgánicos (P, Ca, Mg, Na, K, S, Fe, Cu, Se, etc.) aunque en pequeñas proporciones, son indeseables para la vida animal. Los compuestos inorgánicos resultan fundamentales para la nutrición de los animales pues ellos entran en la composición de cada célula viva y en el crecimiento y desarrollo de los animales jóvenes, tienen un importantísimo papel en la formación de tejidos, huesos y dientes (Méndez *et al.*, 1974).

### 2.11.3. **Proteína**

Son un grupo de compuestos orgánicos, de aproximadamente 20 aminoácidos diferentes, siendo estas las partes principales de cada célula viva. La principal fuente de obtención de estos aminoácidos son las hojas, hierbas y forrajes. En los trópicos existen problemas por que las hierbas y gramíneas no tienen suficiente proteína para una alimentación adecuada de las ovejas. La proteína limita severamente los procesos productivos cuando su concentración en el forraje consumido baja del 7% (Leupolz, 2000).

La proteína forman parte de los músculos, órganos interno, cartílagos, el tejido conectivo, piel, pelo, lana, pezuñas, así mismo cumplen funciones en el organismo entre ellas: crecimiento corporal, forman parte de secreciones (jugos digestivos y semen), de productos (leche, carne, lana, etc.) y el plasma sanguíneo

(anticuerpos, enzimas, hormonas), las raciones pobres en estos nutrientes causan graves trastornos en el organismo o fuerte agotamiento y si se llegara a prolongar esta situación hasta la muerte (Méndez *et al.*, 1974).

#### **2.11.4. Grasas**

El término grasa, es un término genérico para designar varias clases de lípidos, generalmente son ésteres en los que uno, dos o tres ácidos grasos se unen a una molécula de glicerina, formando monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos respectivamente. Las grasas están presentes en muchos organismos (Méndez *et al.*, 1974). Debido a su estructura, son moléculas hidrófobas (insolubles en agua); Constituye un material de mayor valor nutritivo por las cantidades de energía que le proporcionan al animal en forma de grasa el organismo almacena energía de reserva, sirven además para la asimilación de vitaminas como la A y de minerales como el fósforo. Las grasas son solo un tipo de lípidos procedentes de animales y son los más ampliamente distribuidos en la naturaleza (Méndez *et al.*, 1974).

#### **2.11.5. Carbohidratos**

Parte de los alimentos vegetales se dividen en: fibra y extracto libre de nitrógeno. Constituido por azúcares y almidones, los azúcares son utilizados por las plantas como moléculas transformadoras de energía, pueden ser simples o complejas, glucosa, galactosa y fructosa son azúcares simples importantes en la dieta animal, sin embargo la mayoría de los monosacáridos absorbidos en el intestino se originan debido a la hidrólisis enzimática de los carbohidratos más complejos

(lactosa y sacarosa), los almidones, almacenan energía producida por las plantas (Leupolz, 2000).

El organismo puede transformar almidones y azúcares en ácidos grasos no saturados, los cuales son de fácil utilización por todos los animales, proporcionando energía al organismo al igual que otros ácidos grasos. La fibra que forma parte estructural de las plantas y de los forrajes los cuales son fuente importante de energía para los rumiantes representadas entre otras por la celulosa, lignina y hemicelulosa. El forraje es de difícil digestión para los animales no rumiantes, sin en cambio para los rumiantes es todo lo contrario, ya que ellos pueden hacer uso del forraje gracias a las características de su estómago compuesto, donde habitan microorganismos que pueden convertirla en moléculas digeribles (Méndez *et al*, 1974).

#### **2.11.6. Vitaminas**

Se encuentran en pequeñas cantidades en los alimentos pero por eso no dejan de ser excepcionalmente importante para la vida, no forman parte directamente del cuerpo animal, sirven para estimular los distintos procesos fisiológicos (Méndez *et al*, 1974). El grupo de vitaminas A, B, C, D, E, K falta en los trópicos durante la época seca, la importancia de estas es que evitan la formación de tejidos blandos, fortalece el sistema inmunológico, provee buena visión, una piel saludable, el desarrollo de los huesos (Leupolz, 2000).

#### **2.12. Los granos en la alimentación de ovinos**

La principal comercialización de los granos es empleada para consumo pecuario, consumo humano e industrial (elaboración de biocombustibles). Por lo cual el mercado de los biocombustibles se vincula de manera importante al de los

energéticos que, aunado a otras condiciones como el tipo de cambio y el en las zonas de producción, impactan en los precios internacionales del grano. Así mismo de igual forma es importante mencionar que el maíz es el principal grano utilizado en las industrias pecuarias por tal motivo es que este grano tiene un elevado costo (Figura 7), que se ha ido incrementando al pasar de los años (FIRA, 2015).

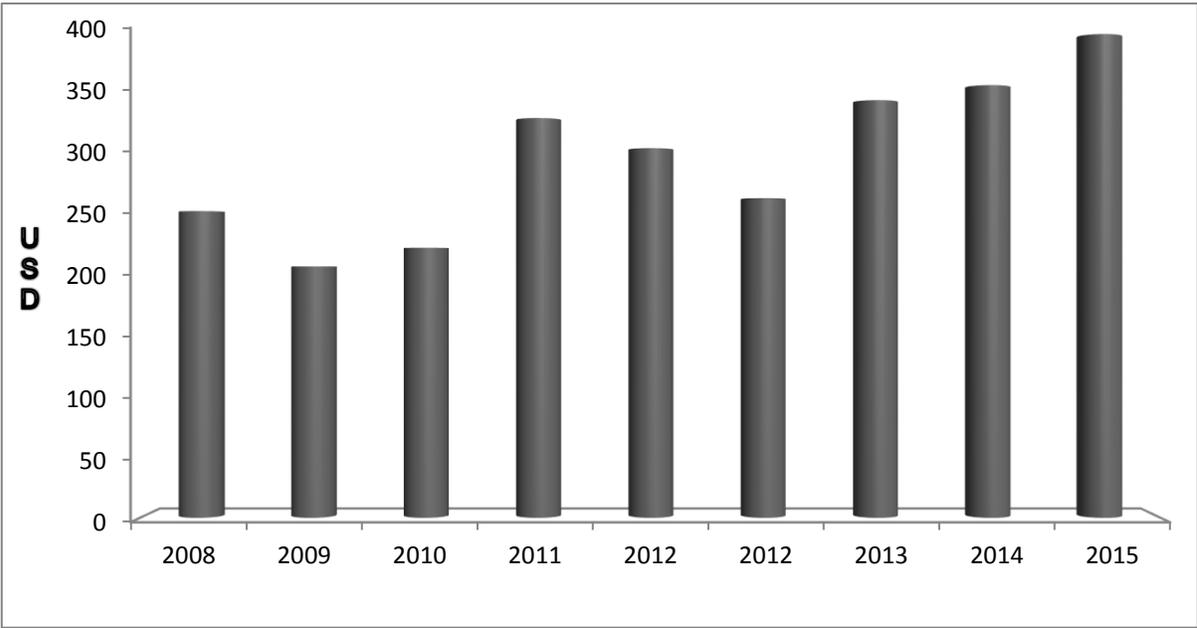


Figura 7. Precio del maíz en grano en México (USD/Ton) (FIRA, 2015).

En el año 2007 se estima que en México la demanda de granos forrajeros para la alimentación ganadera es de 20,361.6 toneladas (SAGARPA, 2015), lo cual obedece a el aumento de la población en general, así como de la intensificación en los sistemas de producción para la obtención de alimentos con alto valor biológico para la alimentación humana (FIRA, 2015). El sector pecuario reporta una alta demanda de maíz ya que se produjeron 20,614,755.87 toneladas, seguido del sorgo con 11,308,146.16 toneladas (SIAP, 2015).

Desde la perspectiva productiva, el maíz se ubica como el principal cultivo en comparación con los cereales cultivados en el territorio nacional, sorgo, trigo, cebada, arroz y avena. El maíz, grano que representa el 85 % del volumen nacional de cereales y el 2.8 de la producción mundial. El valor de la producción de maíz durante 2012 fue de 88,489 millones de pesos, lo que lo posiciona como el cultivo más importante en cuanto al valor de la producción agrícola, representando el 21.6 % del valor total de la producción agrícola primaria del país (FIRA, 2014).

Así como también en México se destinan cerca de 2.0 millones de hectáreas al cultivo de sorgo, su producción y consumo están estrechamente relacionados con la actividad ganadera, debido a su importancia como insumo en la alimentación animal (FIRA, 2015).

### **2.13. Efecto del nivel del grano en la ración**

La dieta normal del rumiante en pastoreo es muy baja en carbohidratos disponibles, aunque los rumiantes son capaces de utilizar ingredientes de baja calidad, como alimentos fibrosos, raciones que contengan altas cantidades de granos como maíz y sorgo, son comúnmente utilizados en la alimentación para maximizar los niveles de producción de los rumiantes domésticos (Nisbet y Martin, 1991).

De haber un abuso en el consumo de granos en los rumiantes, el organismo de los ovinos consecuentemente atrae fluido fuera de las extremidades para diluir el excedente del líquido acumulado en el rumen y esto trae como resultado un aumento en la presión sanguínea que es ocasionada por traslado de los fluidos fuera del rumen hacia la circulación sanguínea y esto trae como consecuencia que las arterias que distribuyen la sangre en dirección las extremidades y estas aumentan en tamaño permanentemente y este aumento en el flujo sanguíneo y

esta alteración genera al mismo tiempo el crecimiento o alargamiento continuo de las pezuñas y el crecimiento desmedido de las pesuñas causa cojera en los animales, aunque también por el contrario de haber un déficit de carbohidratos disponibles en la dieta, el animal es incapaz de metabolizar los ácidos grasos volátiles, más allá de la etapa de cuerpos catónicos (Van Soest, 1994).

#### **2.14. Acidosis láctica**

La acidosis ruminal se define como una reducción drástica del pH en el rumen debido a una ingestión y fermentación excesiva de carbohidratos solubles como azúcares y almidones. Estos carbohidratos no estructurales incrementan el proceso de fermentación ruminal, reduciendo el pH del rumen. Actualmente, el término "acidosis" es usado similarmente para disturbios digestivos del rumen también llamada indigestión aguda o envenenamiento por granos (Owens *et al.*, 1998).

La acidosis láctica en rumiantes es frecuentemente clasificada como aguda, crónica o subaguda. Un excesivo consumo de carbohidratos fácilmente fermentables tales como el almidón, trae como consecuencia la reducción del pH del rumen. La acelerada reducción del pH ruminal produce consecuentemente una acidosis láctica aguda o crónica, identificando como principal signo que el animal disminuya el consumo de alimento y la ganancia de peso de igual forma se reduzca (Owens *et al.*, 1998).

Un diagnóstico clínico de la acidosis depende de la acidez ruminal o de la sangre, con pH ruminal de 5.2 a 5.6 puede ser usado como marcador de acidosis aguda o crónica, respectivamente (Church, 1991). Estos valores pueden ser usados para establecer la gravedad de la acidosis. Una acidosis aguda puede ser detectada cuando se pueden observar que el animal presente los siguientes signos: pataleo abdominal, reducción en la motilidad ruminal, falta de apetito,

aumento en la frecuencia cardiaca, diarrea profusa, gorgoteo gaseoso en el rumen, y respiración superficial (Church, 1991).

La acidosis láctica en rumen es el padecimiento más común en rumiantes dedicados a la producción de carne. La acidosis láctica ocurre frecuentemente en ganado bovino y ovino de engorda estabulados o en aquellos animales que reciben raciones con alta energía y baja fibra. Una gran cantidad de alimentos altamente fermentables (almidones) que contienen los granos, consumidos en un corto periodo de tiempo, puede resultar en la producción de más ácido láctico que el que puede ser amortiguado en el rumen. El resultado es la atracción de agua del sistema circulatorio al rumen, el organismo se deshidrata y ocurren cambios drásticos en el pH de la sangre (Owens *et al.*, 1998).

Los animales que son afectados por una acidosis láctica aguda pueden presentar problemas tales como rumenitis fúngica, abscesos en el hígado, timpanismo y laminitis, entre los efectos más drásticos. También se puede mencionar que la absorción de ácidos grasos volátiles (la principal fuente de energía para el rumiante) (Fell y Weekes, 1975), puede ser afectada por la queratinización anormal del epitelio ruminal como consecuencia de la acidosis en el rumen. Por lo tanto, debido a que la absorción de AGV representan del 65% al 75% del total de la energía metabolizable disponible para el rumiante una reducción en la adsorción de los mismos, puede sustancialmente reducir la ganancia de peso y eficiencia alimenticia del rumiante (Bergman, 1990).

## **2.15. Buffers del rumen (amortiguadores)**

Debido a que el pH es el factor más crítico que afecta el crecimiento microbiano en el rumen, una alteración con respecto de lo normal (pH de 5.8 a 6.2) tienen un impacto negativo en el animal. La masticación que ocasiona un flujo masivo de saliva hacia el rumen, evita fluctuaciones en el pH ruminal (Harrison *et al*, 1975).

Además de la saliva que fluye hacia el rumen, amortiguadores como el bicarbonato, pueden incluirse en las raciones para mantener un rango normal de pH en el rumen. Algunas sales minerales conocidas como amortiguadores (buffers) pueden mejorar el consumo de materia seca, la ganancia de peso y la salud de los rumiantes que consumen altas cantidades de grano en corral. Uno de éstos amortiguadores es el bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>). Los amortiguadores son sales minerales con capacidad de mantener una concentración apropiada de iones hidrógeno en el rumen, intestinos, tejidos y fluidos corporales, y además, puede aumentar la tasa de paso de líquidos desde el rumen. Un incremento en la tasa de dilución del líquido ruminal puede mejorar la eficiencia en la producción de los rumiantes, principalmente debido a una mejora en la eficiencia del crecimiento bacteriano y al flujo de glucosa, y aminoácidos de origen alimenticio y microbiano al intestino delgado (Harrison *et al.*, 1975). La mayoría de las investigaciones dedicadas a los buffers se ha enfocado en el bicarbonato de sodio. En general, información publicada sobre el uso de este producto y la amplitud de su uso en raciones prácticas en vacas lecheras, demuestra ser muy efectivo (NRC, 2007).

#### **2.16. Importancia de los buffers en los alimentos.**

La principal causa de la acidosis es debido a un alto consumo de ingredientes ricos en carbohidratos no estructurales como granos, melaza, tubérculos y subproductos lácteos, por eso para reducir la incidencia de acidosis, estos alimentos deben suministrarse de forma gradual, y no sin balanceo, ni de forma repentina (McBurney *et al.*, 1981). (Cuadro 1).

En este cuadro mencionan los factores que contribuyen al efecto tampón (buffer) en el rumen. La pared celular (FON), mediante el masticado y la rumia, estimula el flujo salival y el mezclado en el rumen, además que tiene una mayor capacidad amortiguadora por sí misma. La saliva neutraliza los ácidos grasos volátiles producidos por la fermentación ruminal y de esa manera, evita cualquier caída brusca en el pH del rumen (Mc Burney *et al.*, 1981).

Cuadro 1. Factores que contribuyen al efecto buffer (tampón) en el rumen. (Mcburney *et al.*, 1981).

Factor buffer	Buffer promovido por	Fuente del efecto buffer
Saliva	Fibra bruta y rumia	El Bicarbonato y los fosfatos
Fibra	Intercambio catiónico	Neutralización del pH
Sales minerales de ácidos orgánicos de la planta	Forraje	Fermentación de ácidos del forraje verde a CO <sub>2</sub>
Proteína en la dieta	Producción de NH <sub>3</sub>	Neutralización del pH

### 2.17. Masticación y secreción de saliva

La secreción de saliva que ocurre durante la masticación, cuando el animal come o rumia, puede ocasionar un flujo masivo de saliva hacia el rumen, evitando fluctuaciones en el pH ruminal. La saliva es importante porque proporciona un flujo de líquido a través del rumen. Una de las principales funciones de la fibra es estimular la rumia, y consecuentemente, la producción de saliva. La fibra, debido a su baja densidad, es voluminosa y requiere ser rumiada para reducir las partículas a un tamaño que puedan pasar a través del orificio reticulo-omasal. Por esta razón, debe incluirse suficiente fibra gruesa en la ración para estimular la rumia y la adecuada salivación (Van Soest, 1994).

En vacas lecheras alimentadas con raciones conteniendo forrajes toscos, altas en FDN, se reporta que la cantidad de saliva producida, vario de 4 a 6 litros

por kg de alimento consumido, pero al utilizar concentrados con poca FDN, sólo se produjeron alrededor de 1.2 a 1.5 litros por kg de alimento (Van Soest, 1994), Se considera que para que haya una óptima producción de saliva, debe haber suficiente fibra en la ración, con el propósito de que se estimulé la masticación y el flujo de saliva. La fibra del forraje a su vez, también proporciona un efecto buffer (amortiguador) a través del intercambio catiónico (McBurney *et al*, 1981).

El flujo de saliva secretada diariamente se estima entre una a dos veces el volumen del rumen (Hungate, 1982). La saliva contiene bicarbonato que amortigua la acidez producida por la fermentación en el rumen. Con relación a la producción de saliva y su efecto en el pH ruminal, consideran que los alimentos contribuyen con cerca del 15% del total de la capacidad amortiguadora (buffer) disponible para el animal (Miller *et al.*, 1993).

## **2.18. Carbohidratos**

Los carbohidratos son el componente principal de los tejidos vegetales, al constituir hasta el 70% o más de la materia seca de los forrajes de origen vegetal (Figura 8), mientras que en, los cereales presentan concentraciones más altas superiores al 85% (Pond y Church, 2002).

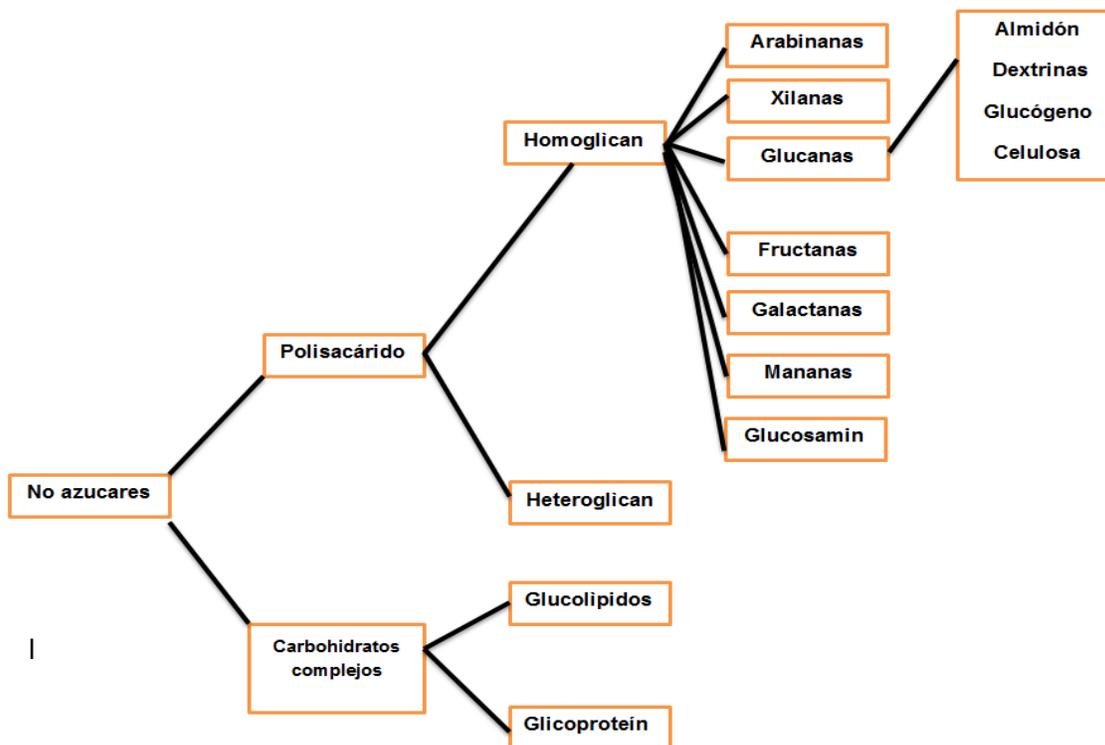


Figura 8. Clasificación de los carbohidratos no azúcares (McDonld et al 1993).

En base a su estructura y función los carbohidratos ( $H_2OC$ ) pueden clasificarse en polisacáridos de reserva, como el almidón y estructuras como la celulosa, la hemicelulosa, y finalmente como simples o azúcares, entre los cuales encontramos monosacáridos y disacáridos (Relling y Mattioli, 2003). En la nutrición animal los carbohidratos (Figura 9), tienen como principal función servir como fuente de energía para los procesos vitales normales, sin embargo en las formas menos solubles, como él (almidón, funcionan como reservas de energía (Pond y Church, 2002).

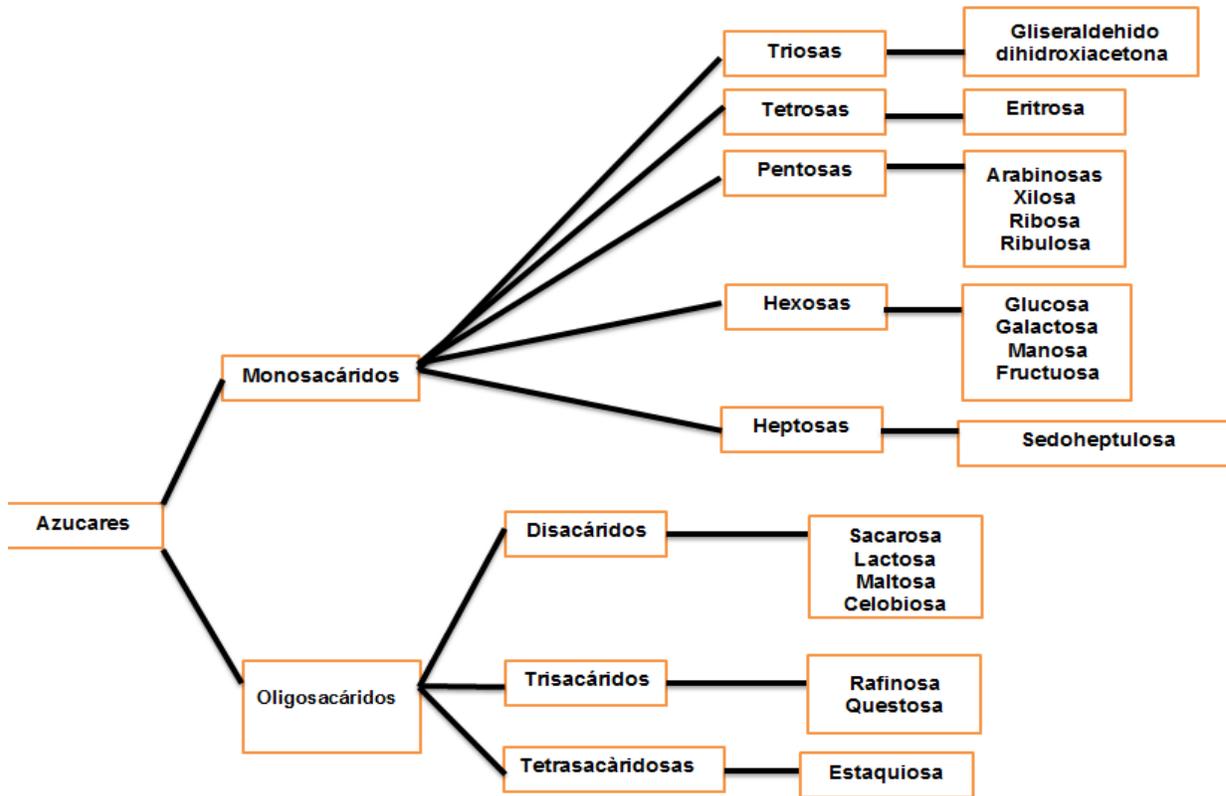


Figura 9. Clasificación de los carbohidratos azúcares (McDonld et al 1993).

## 2.19. Carbohidratos estructurales

Al ser los rumiantes animales herbívoros, la composición de su ingesta depende de acuerdo con las especies que consumen y el estado de madurez de las plantas, contienen celulosa, hemicelulosa (polisacáridos) y lignina los cuales son componentes importantes de las paredes celulares, principalmente la lignificación aumenta con la edad de la planta (Church *et al.*, 2002).

### 2.19.1. Celulosa

Es un polisacárido (glucanas) que forma la estructura fundamental de las paredes celulares de las plantas y es el componente más abundante en los vegetales. Ya que este es el principal carbohidrato sintetizado por las plantas, conformado por una cadena lineal de unidades de glucosa, unidas por enlaces glucídicos  $\beta$ - 1, 4 (Figura 10), la cual se encuentran presentes en la pared primaria y secundaria de planta en forma de micro fibrillas (Van Soest, 1994). Se encuentra unida por enlaces de hidrogeno entre las cadenas, que se orientan en dominios cristalinos paralelos altamente ordenados y sistematizados por regiones amorfas más desordenadas (Béguin y Aubert, 1994).

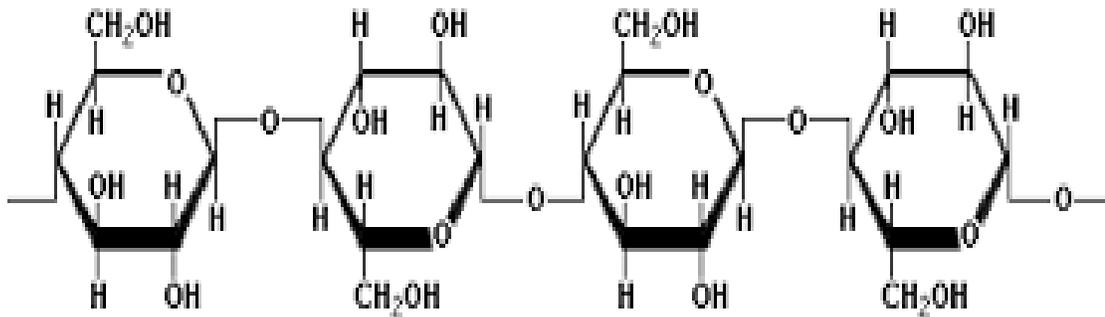


Figura 10. Estructura química de la celulosa; Modelo de moléculas de celulosa unidas por puente de hidrógeno (Béguin y Aubert, 1994).

La celulosa se presenta en forma cristalina y amorfa, además se considera el polisacárido más resistente de la pared celular. La forma cristalina, presenta mayor resistencia a los procesos de hidrólisis debido al mayor número de enlaces de hidrogeno, los cuales evitan la acción enzimática (McDonald, 1993).

La cristalinidad de las microfibrillas de la celulosa es dependiente de la fuente y la edad de la planta de donde provenga. En la pared secundaria se

forman diversas láminas de microfibrillas, las cuales se organizan en paralelo presentando una orientación diferente cada lámina, helicoidal, de donde puede haber implicaciones importantes en relación a los procesos de degradación de las enzimas microbianas (Béguin y Aubert, 1994).

### 2.19.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa es el segundo polisacárido más abundante de las plantas en asociación con la celulosa en la mayoría de especies vegetales es definida como un polisacárido soluble en álcalis, que se encuentran unidos a la celulosa por puentes de hidrogeno. La hemicelulosa está conformada principalmente por polímeros de xilosa (cadenas de  $\beta$ -4-xilosa), cadenas laterales de unidades de arabinosa, y ácido glucoronico (Van Soest *et al.*, 1991).

Estos polisacáridos se diferencian por la presencia de monosacáridos (Cuadro 2), como la D-xilosa, D-glucosa, D-galactosa, L-arabinosa, fructuosa y ácidos galacturonicos, en distintas combinaciones y diversos enlaces glucídicos, es decir, está basada principalmente en residuos de azucares presentes en el esqueleto del polímero, las hemicelulosas se denominan xilanos, galactanos arabinosos, glucomananos (McDonald *et al.*, 1993).

Cuadro 2. Polisacáridos de la hemicelulosa.

Polisacáridos	Monosacáridos
Xilanos	Arabinoxilanos
Mananos	Glucomananos
Galactanos	Galactomananos. Arabinogalactanos

Adaptado de (Armenta *et al.*, 2009)

La hemicelulosa, al igual que la celulosa, es un polisacárido de la pared celular, soluble en álcalis, estructuralmente está compuesta por moléculas de D-glucosa, D-galactosa, D-manos, D-xilosa y L-arabinosa, en distintas combinaciones y con diversos enlaces glucídicos. La hemicelulosa de las gramíneas contiene una cadena principal de xilana, constituida por moléculas de xilosa con enlaces  $\beta$ -(1 - 4) con cadenas laterales que incluyen ácido metilglucorónico y, frecuentemente, glucosa, galactosa y arabinosa (McDonald *et al.*, 1993).

### **2.19.3. Lignina**

El segundo compuesto orgánico con mayor presencia en la naturaleza, cuya función en las plantas es de mantener su rigidez, el término “lignina” se refiere a un una serie de compuestos estrechamente relacionados entre sí (Ortega, 1993).

Es un polímero aromático, formado principalmente por tres compuestos derivados del fenilpropano: alcohol coniferílico, alcohol p-cumaril y alcohol sinapílico, la molécula de la lignina está formada de diversas unidades fenilpropanoides asociadas en una estructura compleja que se encuentran unidos entre sí por enlaces covalentes entre carbono-carbono y oxígeno-carbono. Es totalmente indigestible por los microorganismos del rumen además (Figura 11), reduce la digestibilidad de los carbohidratos estructurales, por estar entrelazada con la celulosa y hemicelulosa, (Aronen *et al.*, 1991; Franco *et al.*, 2000).

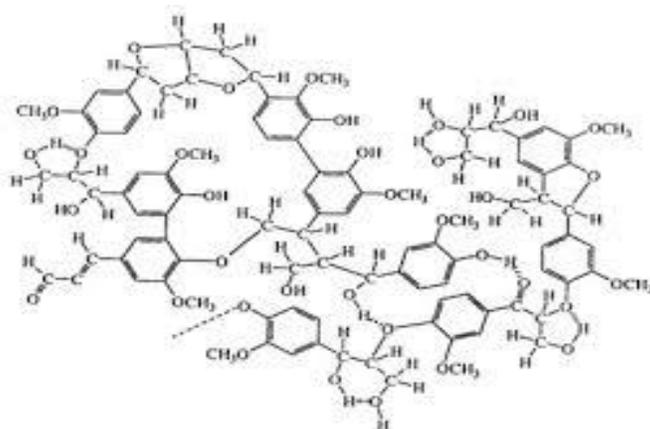


Figura 11. Estructura química de la lignina (Aronen *et al.*, 1991; Franco *et al.*, 2000).

Siendo la lignina el principal componente fenólico de la pared celular y un polímero con estructura no definida teniendo una gran heterogeneidad con las ligninas de diferentes especies, órganos y tejidos, debido a que presenta una alta resistencia a la degradación química la lignina ha tenido principal interés en el estudio en la alimentación animal (Lapierre, 1993).

## 2.20. La fibra en la función ruminal

La fibra son sustancias poliméricas de las plantas que resisten la acción de las enzimas digestivas de los mamíferos". Los investigadores en nutrición animal excluyeron toda definición de la fibra que no tuviera un énfasis nutricional, partiendo la materia seca de los forrajes de acuerdo a la disponibilidad nutritiva en dos fracciones (Van Soest, 1994). La materia seca está compuesta por una fracción que es soluble en una solución detergente neutro, el contenido celular, y otra fracción insoluble, la pared celular, también llamada fibra en detergente neutro

(FDN), y la fibra en detergente ácido (FDA) se obtiene de la solubilización de la hemicelulosa con una solución detergente acida. La partición de la materia seca en base al valor nutritivo de sus componentes según el sistema detergente de análisis es el siguiente (Van Soest, 1994). El contenido celular (materia nutritiva) contiene: carbohidratos solubles; proteína y otros compuestos nitrogenados; lípidos, ácidos grasos, y otros compuestos solubles en éter, cenizas solubles; y pectina. Por otro lado, pared celular contiene: materia parcialmente nutritiva como celulosa y hemicelulosa; materia no-nutritiva como lignina; extracto etéreo no-nutritivo (ceras, terpenos, etc.); y cenizas insolubles en ácido (principalmente sílice) (Van Soest, 1994).

## **2.21. Carbohidratos de los granos**

En los granos hay tres tipos básicos de carbohidratos: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los monosacáridos o azúcares sencillos esta constituidos por una unidad aislada como cetona, y el más abundante de ellos es la glucosa, azúcar de seis átomos de carbono, que constituye la molécula energética más importante para los animales y una de sus funciones básicas es la síntesis del almidón y la celulosa (Van Soest, 1994).

El estudio de las principales fuentes de alimento que consumen los rumiantes, mencionan que tanto la celulosa como el almidón son carbohidratos, polímeros de la glucosa, por eso la gran diferencia es que la celulosa es una poli- $\beta$ -piranosa unido a través de carbono, mientras que el almidón es un polisacárido unido a través de uniones  $\alpha$ - acetal, siendo así que los carbohidratos no estructurales (CNE), como el almidón es la principal fuente de energía debido a que es transformado en el rumen, produciendo una alta cantidad de ácido propionico, precursor de la glucosa en los rumiantes por que la concentración

óptima de CNE está entre 30 y 35% de la materia seca ingerida por el rumiante, además se conoce, que no todas las fuentes de almidón tienen igual velocidad de degradación, siendo más rápidamente degradable el almidón del trigo que el de maíz o sorgo (García, 2003).

Siendo los granos la mayor fuente de energía en la alimentación animal, su contenido de almidón difiere entre sí (Figura 12), como por ejemplo el trigo contiene el 77 % de almidón en base a materia seca, el maíz y sorgo contienen 72 %, la cebada y la avena están respectivamente en 57 y 58 % (Huntington, 1997).

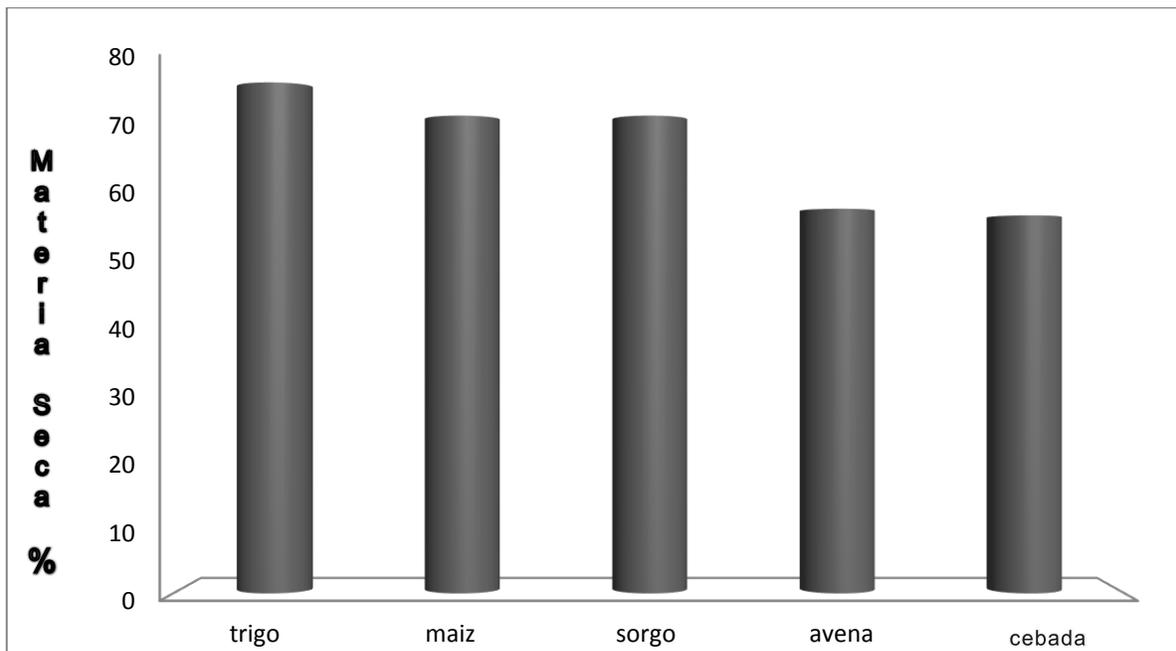


Figura 12. Porcentaje de almidón con base en la materia seca de diversos granos (Huntington, 1997).

## 2.22. Propiedades del almidón

El almidón es el polisacárido de almacenaje de las plantas y la principal fuente de alimento para los animales. El almidón representa del 60 al 80 % de la mayoría de los granos de un gran porcentaje de muchas raíces y tubérculos, y es el principal componente de muchos granos de leguminosas (Herrera Saldaña *et al.*, 1990; Huntington, 1997; Owens, 1998).

Las unidades de producción de ovinos dependen en gran medida de su alimentación proporcionada a los ovinos y esto es a base de granos como el maíz, sorgo, y cebada que se emplean como principales fuentes de energía (Mendoza *et al.*, 2007). La estructura y composición del almidón de los granos y sus interacciones con proteínas son determinantes en la digestibilidad y valor alimenticio del grano para los animales en producción (Roney y Pflugfelder, 1986). Ya que la digestión ruminal del almidón establece el comportamiento productivo de los ovinos alimentados con dietas altas en granos (Mora *et al.*, 2002).

Debido a que el almidón es un polisacárido heterogéneo compuesto por dos tipos de moléculas polímeros: amilosa y amilopectina (Kotarski *et al.*, 1992). Siendo la amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces tipo  $\alpha$  (1-4) (Figura 13). La proporción de amilosa en el grano puede variar de 14 a 34 %, lo cual depende de la especie de grano o cereal de su genética. La amilopectina es un polímero ramificado que consiste en una cadena lineal de residuos de glucosa  $\alpha$  (1-4), con ramificaciones  $\alpha$  (1-6) cada 20 a 25 unidades, es mayor que la amilasa, y representa aproximadamente 70 a 80 % del almidón contenido en los granos (Kotarski *et al.*, 1992). El almidón está formado por gránulos con gran organización en los cuales la amilosa y la amilopectina están unidas por puentes de hidrogeno (Tamminga y Williams, 1998).

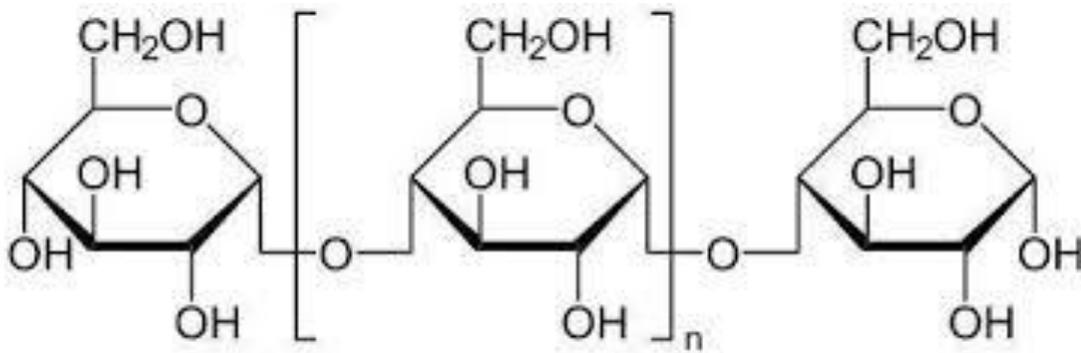


Figura 13. Estructura química del almidón (Nocek y Tamminga, 1991).

Los granos de cereales contienen entre un 70 a 80 % de almidón, que se encuentra en el endospermo, formando gránulos compuestos principalmente por amilopectina, protegidos por una doble barrera mecánica, el componente más abundante del almidón (70 - 80 %), cuya estructura ramificada, comprende zonas organizadas o cristalinas, compuestas por los residuos lineales de alfa 1-4 glucosa, y zonas amorfas ricas en residuos de alfa1-6 glucosa o puntos de ramificación (McDonald *et al.*, 1993). El componente minoritario del almidón, la amilosa, se encuentra unido a la estructura de la amilopectina por puentes de hidrógeno, localizados fundamentalmente en las regiones amorfas (Guada, 1993).

Como poseen baja concentración de agua y aportan mucha energía en poco volumen, los granos se consideran un alimento concentrado energético ya que contienen de 57 a 77% de materia seca (MS) de almidón como precursor de glucosa para los rumiantes (McDonald *et al.*, 1993).

La digestión del almidón de los granos en las raciones de rumiantes es prácticamente completa, existiendo no obstante diferencias según el tipo de grano, en cuanto a la proporción de almidón soluble (hidrolizado muy rápidamente), la fermentada en el rumen, y la digerida en tramos posteriores del aparato digestivo (Guerra, 2011).

La degradación del almidón depende de la relación amilosa y amilopectina además de otro factor que afecta la digestión del almidón de los cereales es la

presencia de una matriz proteica alrededor del granulo, dificultando la acción de las enzimas digestivas (Kotarski *et al.*, 1992). El aumento del área accesible y la fractura de la matriz proteínica es la principal causa de la degradación ruminal del almidón del maíz y sorgo, cuando son procesados intensamente (Huntington, 1997).

### **2.23. Metabolismo de los lípidos.**

En el rumen, el metabolismo de los lípidos contenida en la dieta comienza con la hidrolisis por enzimas microbianas (lipasas, galactosidasas y fosfolipasas) producidas por bacterias como *Ruminococcus albus* y *Ruminococcus flavefaciens* y diferentes especies de protozoos y hongos (Or-Rashid *et al.*, 2007).

Los lípidos de forrajes, cereales y semillas quedan expuestos a la acción microbiana cuando la matriz vegetal ha sido masticada y degradada. La actividad lipolítica se ve influenciada por el estado de madurez del forraje y el contenido en nitrógeno y por el tamaño de las partículas alimenticias en el rumen (Jenkins, 1993), la velocidad de hidrolisis ruminal está directamente relacionada con el grado de instauración; los aceites son hidrolizados más rápidamente que el sebo y no se detecta hidrolisis alguna de glicéridos saturados (hidrogenados) (Palmquist y Kinsey, 1994).

El grado de hidrolisis es reducido a medida que aumenta el nivel de la grasa en la dieta o factores tales como un bajo pH del rumen o el uso de algunos suplementos alimenticios como los ionóforos inhiben la actividad y el crecimiento de las bacterias (Van Nevel y Demeyer, 1995; 1996).

Porcentajes altos de ácidos grasos libres, ácidos grasos poliinsaturados y grasas en estado libre inhiben en cierto grado la acción microbiana y perjudican la

digestión de los nutrientes en el rumen, en especial la fracción fibrosa (Wu *et al.*, 1991).

### **2.23.1. Lipolisis**

El proceso general de la digestión de los lípidos en rumiantes, inicia con la masticación de los alimentos, produciéndose la liberación y posterior exposición de los lípidos contenidos en la matriz alimenticia. Momento en que actúan las lipasas microbiales, las cuales darán inicio a los procesos de hidrólisis enzimática (Dawson *et al.*, 1974), dicho proceso que precede a la biohidrogenación (Garton *et al.*, 1961).

En rumiantes, el proceso de lipólisis lo realiza la bacteria *Anaerovibrio lipolítica*, por la acción de sus lipasas asociadas a sus estructuras membranosas externas de la misma bacteria (Hobson y Summers, 1966 y 1967). A partir de la lipolisis, se hidrolizan los galactoglicéridos a glicerol, ácidos grasos y galactosa, los fosfolípidos a ácidos grasos libres, fosfato y glicerol y los triglicéridos a ácidos grasos y glicerol (Garton *et al.*, 1961).

### **2.24. Digestibilidad**

La definición más simple de digestibilidad indica que es la medición de la cantidad de nutrimentos que después de pasar por el tubo digestivo no aparecen en las heces. Esto nos ayuda determinar la cantidad de alimento ingerido por el animal expresado en porcentaje (Rodríguez y Llamas, 1990).

## 2.25. Digestibilidad de los granos

La determinación de la digestibilidad es reconocidamente la primera aproximación en la obtención de la estimación de los parámetros del valor nutritivo de los alimentos (Correa *et al.*, 2007). Uno de los principales factores que afecta la productividad de los rumiantes alimentados con dietas altas en granos, es la digestión ruminal del almidón (Huntington, 1997), por lo que se han desarrollado diversos procesos para incrementarla y consecuentemente aumentar el valor energético (Owens *et al.*, 1997).

Estudios realizados en ganado lechero han demostrado que el procesamiento de granos mejora la disponibilidad y utilización del almidón, logrando efectos benéficos en la producción de leche al incrementar su contenido de energía neta para la lactancia en alrededor del 20% (Rojo *et al.*, 2007). Durante muchos años, se discutió la posibilidad de mejorar la respuesta animal mediante la manipulación de la digestión intestinal del almidón (Owens *et al.*, 1986). La digestibilidad *in vitro* e *in vivo* de los gránulos de almidón muestra una alta variación (Dreher *et al.*, 1984), ya que en general son inversamente proporcional al contenido de amilasa (Rooney y Pflugfelder, 1986).

Entre los procesos más estudiados para controlar la tasa y extensión de la degradación ruminal del almidón están el manejo del consumo de alimento, procesamiento de los granos y más recientemente el uso de aditivos alimenticios como el uso de enzimas amilolíticas. Considerando el grado de aprovechamiento del almidón de los granos para obtener el máximo de energía de los mismos, ya que la intensidad de este proceso degradativo es variable y depende de la magnitud de la fracción potencialmente degradable y de su tiempo de retención en el rumen, así como también es determinada por la relación intrínseca de varios factores nutricionales; dentro de los que se encuentran el tipo o fuente de la dieta del almidón, composición química y nutritiva de la dieta, la cantidad de alimento consumido por unidad de tiempo, alteraciones mecánicas (grado de

procesamiento y masticación) y fisicoquímicas (grado de hidratación y gelatinización) y finalmente el grado de adaptación de los microorganismos ruminales al sustrato que encuentran en el rumen para degradarlo (Rojo *et al.*, 2007).

## **2.26. Productos de la fermentación de los carbohidratos solubles**

La presencia de glucosa libre en el rumen, puede tener al mínimo tres efectos adversos: la bacteria ruminal que normalmente no es competitiva puede crecer muy rápidamente cuando se les provee alta cantidad de glucosa; otros microbios oportunistas, incluyendo conformes y microbios decarboxilantes de aminoácidos (Church, 1991), pueden prosperar en el rumen del rumiante alimentado con concentrados; la glucosa liberada del almidón incrementa la osmolaridad del contenido ruminal, e incrementa la osmolaridad por la exacerbada acumulación de ácido dentro del rumen por la inhibición de la absorción de los AGV; y sin embargo, esta condición que se presenta, modifica la sincronización de la fermentación a nivel ruminal de los almidones y proteínas, trayendo como resultado un incremento en la retención de nitrógeno de corderos en crecimiento; todo esto, como un porcentaje del nitrógeno consumido (Matras *et al.*, 1991).

La transformación de los carbohidratos solubles en el rumen se realiza en un ambiente ideal para el desarrollo y actividad de los microorganismos (protozoos, bacterias y hongos) mediante la acción de las enzimas microbianas. Tanto los carbohidratos de la pared celular (celulosa) y principalmente los solubles del contenido celular son metabolizados, al ser convertidos (por la glucólisis) en ácido pirúvico. El metabolismo intermediario en el rumiante es igual como en otros mamíferos, aunque en el rumiante difiere principalmente en las cantidades de carbono que pasan por algunas vías debido a una baja absorción neta de glucosa y alta absorción de los AGV, acético, propiónico y butírico a través del tracto digestivo. Consecuentemente, la mayor fuente de energía (por oxidación) son acetato y butirato, mientras que el propionato es reservado para la

gluconeogénesis. Por otro lado, el acetato es el principal precursor lipogénico (Van Soest, 1994).

### **2.27. Factores que afectan la digestibilidad de los granos en el rumiante**

La digestibilidad del almidón es afectada por la composición y forma física del mismo, interacciones proteína-almidón, la integridad celular de las unidades que contienen almidón, factores antinutricionales y la forma física del alimento. La digestibilidad de gránulos de almidón aislados *in vitro* e *in vivo* muestra una alta variación la digestibilidad del almidón es en general inversamente proporcional al contenido de amilosa (Dreher *et al.*, 1984).

Un factor que influye en la digestibilidad del almidón es el grado de procesamiento de los granos y, por tanto, las características físico-químicas del grano. El maíz se procesa mediante la trituración de su materia seca con el propósito de liberar el almidón de la proteica la cual está fuertemente adherida al almidón esto con la finalidad de permitir su digestión en el tracto digestivo de los rumiantes, es así que por esta razón la cebada se muele finamente para romper esa cascara, esto facilita su degradación en el tracto digestivo sin embargo, pueden ocurrir trastornos metabólicos (acidosis) en rumiantes que reciben este grano como fuente de alimento en su dieta (Beauchemin *et al.*, 1999).

### **2.28. Enzimas amilolíticas**

Los estudios con microorganismo ruminales han demostrado que las bacterias constituyen los principales microorganismos responsables de la degradación de la almidón, debido a la gran actividad amilolítica de los microorganismos ruminales, ya que esto se da principalmente por medio de la acción de enzimas

extracelulares, como es el caso de las provenientes de *Streptococcus bovis*, *Butirivibrio fibrosolvens*, *Ruminobacter amylophilus*, las que en cultivo *in vivo* manifestaron su máximo potencial para degradar el almidón (Cotta, 1988). Aun así, la degradabilidad ruminal de granos, como la del sorgo, alcanza solamente el 50 % (Cotta, 1988), la cual se complementa con una digestión adicional en el intestino delgado. Las condiciones de temperatura, pH y calidad del mezclado de la dieta en el líquido ruminal, entre otros factores, condicionan la efectividad del accionar de las enzimas amilolíticas extracelulares de las bacterias ruminales, por lo que existiría la posibilidad de que otras enzimas amilolíticas exógenas pueden actuar sinérgicamente al adicionarse al rumen (Rojo *et al.*, 2007). Además, diferentes investigadores han estudiado el uso de las enzimas amilolíticas termo estables, que también tienen características potenciales para usarse como aditivo para mejorar la digestión ruminal del almidón en rumiantes. Las amilasas del *B. licheniformis* actuaron por difusión en los gránulos de almidón (Helbert *et al.*, 1996), y presentaron una gran actividad en un intervalo de pH entre 4 y 9, y de temperatura entre 30 a 90 °C con un óptimo de 76 °C (Ingle y Ericson 1978).

## **2.29. Ácidos grasos volátiles.**

El propionato como ácido graso volátil actúa como fuente de energía para los pequeños rumiantes (ovinos) así también para todos los demás rumiantes, además que también pueden participar de forma independiente como mediador metabólico ya que este ácido graso volátil puede contribuir hasta con 60 % del sustrato necesario para la gluconeogénesis (Drackley *et al.*, 2001), en dietas altas en carbohidratos fácilmente fermentables, lo cual aumenta los riesgos de acidosis (Lechartier y Peyraud, 2010).

El proceso de digestión de los rumiantes involucra una serie de interacciones entre la dieta, los microorganismos ruminales y el animal hospedador. La fermentación ruminal es el resultado de actividades físicas y microbiológicas que transforman los componentes de la dieta en productos utilizables para el rumiante

(ácidos grasos volátiles, proteína microbiana y vitaminas del complejo B), así como productos de desecho (metano y dióxido de carbono) (Russell y Gahr, 2000).

La principal diferencia del metabolismo de los animales rumiantes con respecto a los no rumiantes es la capacidad de utilizar los ácidos grasos volátiles (AGV) como fuente de energía para su organismo. De hecho, en dichos animales entre 50 y 80 % de glucosa disponible a nivel celular proviene del metabolismo de los AGV. En procesos de fermentación eficientes que resultan en altas tasas de crecimiento de microorganismos, la mayor proporción de los carbohidratos digeridos se convierten en AGV (57%), seguido por incorporación directa en la biomasa microbiana (24%) y 12% de producción de metano (Wood *et al.*, 2002).

Los AGV; acético, propiónico y butírico, son productos de desecho del metabolismo de los microorganismos ruminales (Bergman, 1990). La mayor parte de los microorganismos del rumen obtienen la energía de la fermentación de los azúcares (así como de los esqueletos carbonados de otros compuestos). Esta utilización se inicia con los azúcares contenidos en los alimentos, prosigue con los resultantes de la hidrólisis del almidón y finaliza con los provenientes de la hidrólisis de la celulosa y de los restantes polisacáridos de las paredes celulares (Bergman, 1990).

Una importante proporción de los AGV se utiliza directamente para la síntesis de biomasa microbiana y por lo tanto la fracción que es absorbida en el rumen es variable y altamente dependiente de la tasa de crecimiento de los microorganismos ruminales; los AGV son producidos en el rumen en grandes cantidades por la fermentación microbiana de dietas en carbohidratos y proteínas, particularmente ácido acético, los cuales son absorbidos dentro del flujo sanguíneo principalmente a través de la pared del rumen (Beever, 1993).

Los AGV constituyen el 80 % de la energía que desaparece del rumen, tanto por la absorción (80 a 90 %), como por sobre paso al omaso (10 a 20 %); el 20 % restante se elimina en forma de calor y como metano. Estos ácidos grasos volátiles aportan entre 50 y 70% de la energía digestible del rumiante, principalmente en dietas con altas cantidades de grano en la ración, de dietas

específicas para rumiantes en finalización. Son diversos los factores que regulan su síntesis, concentración (que puede variar de 30 a 200 mm, aunque normalmente está entre 70 y 130 mm) y porcentaje relativo, en dietas altas en granos o energía metabolizable (que en promedio es de 70:20:10) (Doreau y Chilliard, 1997).

El ambiente ruminal al ser anaeróbico los microorganismos sólo disponen de la vía glucolítica para obtener energía, produciendo AGV, ATP y  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . Los microorganismos utilizan el ATP como fuente de energía y eliminan el AGV como un producto de desecho. Para poder degradar una segunda molécula de glucosa por la vía glucolítica necesitarán que el cofactor que se ha reducido ( $\text{NADH} + \text{H}^+$ ) sea nuevamente oxidado (NAD). Como el metabolismo microbiano es anaerobio y por lo tanto no existe una cadena respiratoria que acepte estos enlaces, los microorganismos los transfieren a distintos aceptores o sumideros de hidrógeno. Uno de los más importantes es el carbono, originando la formación de metano ( $\text{CH}_4$ ). A pesar de que este compuesto posee energía intrínseca no puede ser aprovechado por el rumiante, que no posee una ruta metabólica para degradarlo, y se pierde por eructos (Rusell y Gahr, 2000).

Probablemente el factor que más influye en la composición de los AGV ruminales sea la composición de la dieta. Por lo general se acepta que en dietas con gran cantidad de forraje, el patrón de fermentación ruminal está entre 65:25:10 y 70:20:10 (acetato, propionato y butirato, en porcentaje molar), mientras que cuando el contenido de concentrados es grande, las proporciones varían entre 45:40:15 y 50:40:10. El pH ejerce una influencia importante sobre la producción total de AGV, ya que ésta baja al aumentar el pH del contenido ruminal (Ahring *et al.*, 1995).

La porción de ácido acético se incrementa con la elevación del contenido en las paredes celulares de la ración (dietas ricas en fibra), mientras que el ácido propiónico se eleva con la presencia de almidón en la dieta (granos) y la del ácido butírico cuando ésta contiene alimentos muy ricos en glúcidos solubles o

proteínas. La formación de metano será mayor con la producción de acetato, menor con la producción de butirato y en cambio se consumen hidrogeniones durante la síntesis de propionato. Una dieta suplementada con almidón es más eficiente desde el punto de vista energético, incrementando la producción total de AGV (Relling y Mattioli, 2003).

El rumen provee de un ambiente ideal para el desarrollo y actividad de los microorganismos (protozoarios, bacterias y hongos), y en su primera fase, por la acción de las enzimas microbianas, tanto los carbohidratos de la pared celular (celulosa) como los solubles del contenido celular son metabolizados, siendo convertidos (por la glucólisis) en ácido pirúvico (Figura 15). En la segunda fase el ácido pirúvico pasa al interior de los microorganismos y se transforma en ácido graso volátil. Como productos finales, junto con el metano y el CO<sub>2</sub> de la degradación de los CHO`S (Shimada, 1993).

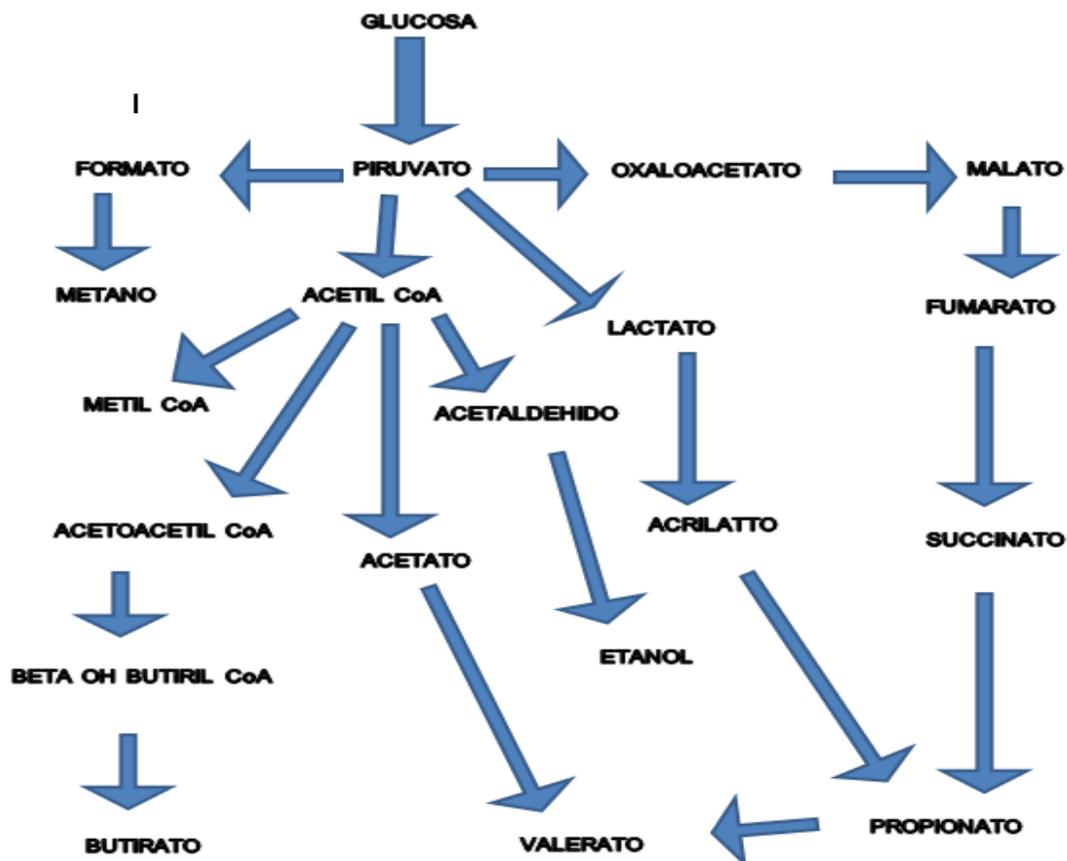


Figura 15. Síntesis de los principales metabolitos en el rumen a partir de glucosa (Shimada, 1983).

Los diferentes productos de la fermentación son: el alcohol etílico, dióxido de carbono, hidrogeno, metano, y una gran variedad de ácidos, incluyendo fórmico, acético, propiónico, butírico, succínico y láctico (Hungate, 1982). Es grande la diversidad de sustancias producidas por las distintas especies de microorganismos; sin embargo, los únicos productos finales de la fermentación de los carbohidratos en el rumen son el dióxido de carbono, el metano y los acético, propiónico y butírico. Otras sustancias son productos intermedios, pero no finales de la fermentación en el rumen (Shimada, 1983).

#### **2.29.1. Acético**

Las raciones que predominan en la producción de este ácido y lo mismo del butírico. Son reacciones fosfoclasticas, en las que el ácido pirúvico es convertido en fosfato de acetilo y ácido fórmico o hidrogeno y CO<sub>2</sub>. Los hidrógenos que se desprenden en el proceso oxidativo son utilizados de distinta manera según las bacterias que realicen la fermentación, los clostridios transfieren los electrones liberados a protones que se separan como hidrogeno molecular, otras bacterias los transfieren al CO<sub>2</sub> produciendo ácido fórmico y otras bacterias más los utilizan para hidrogenar ácidos grasos, además las propiniobacterias que al oxidar ácido pirúvico hasta acético no liberan hidrogeno, sino que este es utilizado para formar ácido propionico simultáneamente (Shimada, 1983).

### 2.29.2. Propiónico

Se han estudiado desde hace ya varios años los tres diferentes tipos de ácidos grasos volátiles, acético, propiónico y butírico, los cuales son producidos en la cavidad digestiva de los rumiantes esencialmente en el rumen en donde el propionato es el único de los tres ácidos grasos volátiles que puede ser convertido en glucosa, siendo éste el primer precursor gluconeogénico que posee una elevada importancia en el sustento de los rumiantes, ya que el rumen debe generar una gran cantidad de la glucosa que necesita el metabolismo para cumplir con la funciones fisiológicas basales del animal, mediante la ingesta de alimentos (Mayes, 2001; Bradford *et al.*, 2006). Debido a que es el segundo AGV más abundante en el rumen, así como en la sangre de los rumiantes (Sano *et al.*, 1993).

El principal sitio de metabolismo del propionato es el hígado y obteniendo así cerca del 80% del propionato que circula en la sangre del rumiante” (Shimada, 1983). El propionato es el glucogénico, y la vía metabólica del propionato a glucosa estima la conversión a propionil CoA y carboxilación a metil malonil CoA, para posteriormente formar succinil CoA (Figura 16), en este paso se requiere Vitamina B12 como coenzima. El propionato entra al ciclo del ácido cítrico como succinato y en pocos pasos es convertido a oxaloacetato, donde diversas rutas son abiertas. El propionato puede ser convertido a glucosa en la segunda vía y puede ser condensado con acetil CoA para formar citrato; o el respectivo ketoácido puede ser aminado y formar los aminoácidos no específicos aspartato, glutamato y alanina (Van Soest, 1994).

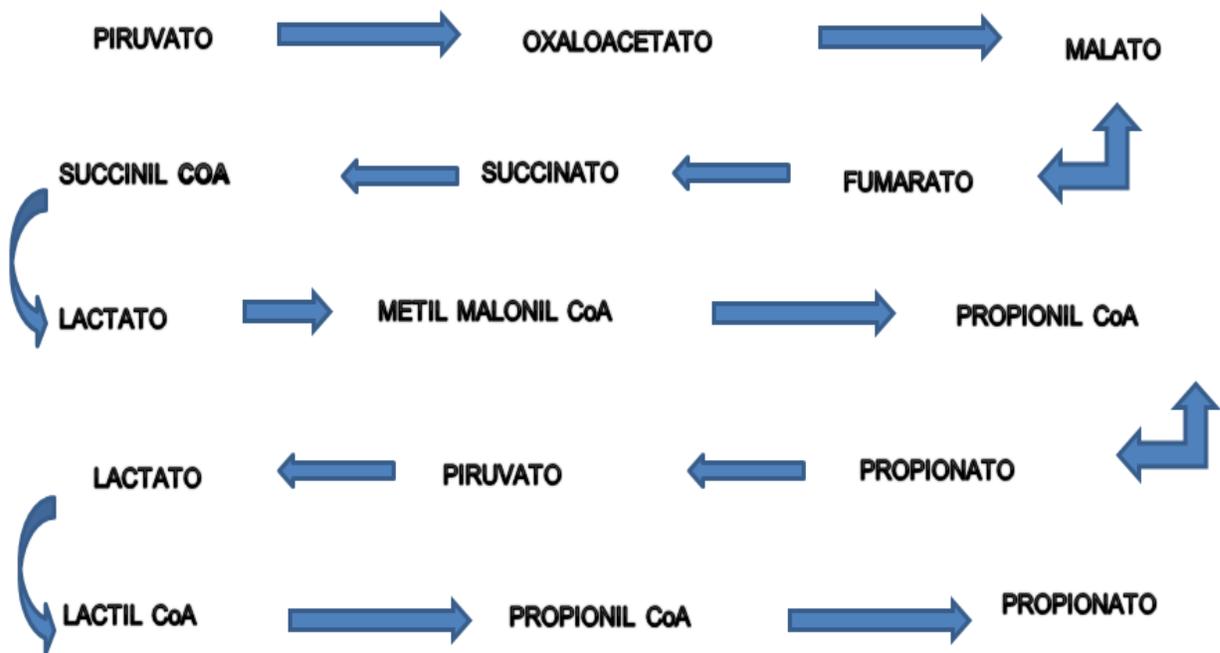


Figura 16. Ruta de formación del propionato (Van Soest, 1994).

El metabolismo del propionato por el rumiante ocurre principalmente en el hígado, en el hígado es convertido en propionil-CoA y se carboxila para generar D-metil-malonil-CoA, proceso catalizado por la *propionil-CoA carboxilasa* (Bradford y Allen, 2007). El lactato, proveniente de la glucólisis anaeróbica y del propionato metabolizado en el epitelio ruminal, origina glucosa vía ciclo de Cori, entrando al ciclo de Krebs como piruvato, que es carboxilado a oxalacetato, mientras tanto, el propionato entra al ciclo de Krebs vía succinil-CoA (Noro y Wittwer, 2012). El propionato puede ser utilizado por gluconeogénesis u oxidado, las tasas de ingreso del propionato probablemente exceden la capacidad de enzimas gluconeogénicas en animales alimentados con dietas altamente fermentables, y los excesos del propionato pueden ser oxidados después de la conversión a acetil-CoA (Bradford *et al.*, 2006).

El propionato es el principal precursor hepático, a partir de este glucogénico el hígado sintetiza del 25 al 55% de la glucosa, dependiendo de su producción ruminal, de modo que este porcentaje llega al 65% cuando la dieta tiene un alto

contenido en almidón por medio de la administración de grandes cantidades de grano en la ración (Relling y Mattioli, 2003).

El hígado sintetiza del 5 al 15% de la glucosa a partir del lactato (el lactato proviene mediante la absorción ruminal), que es producido por la flora microbiana y el formado en la pared ruminal a partir del propionato absorbido, estimaciones realizadas indican que el propionato suministra de 32 a 73% de las demandas de glucosa (Seal y Reynolds, 1993).

### **2.29.3. Butírico**

Los ácidos grasos volátiles pueden sufrir procesos de inter conversión, o sea que un ácido graso volátil presente en el organismo del rumiante puede ser empleado como sustrato para la síntesis de un segundo ácido graso volátil y viceversa tanto así que del 40 al 80 % del butirato deriva del acetato y del 6 al 20 % de acetato proviene del butirato presente en el organismo, pero sin embargo en cuanto al balance energético es preferente la inter conversión del butirato en acetato dado que esta reacción metabólica arroja ganancia energética, mientras que la conversión de acetato a butirato significa una pérdida energética (Shimada, 1983). El ácido butírico se sintetiza a partir del ácido acético o de compuestos que producen acetil CoA, como son los ácidos pirúvico y glutámico, estas son las dos vías principales del ácido butírico son: El reverso de la  $\beta$ -oxidación y síntesis de malonil CoA, la primer vía es más eficiente dado que consume un ATP, en contraparte a la segunda ruta la cual consume dos ATPS, así como también, es más conocida para la síntesis de ácidos grasos de cadena larga y ácidos grasos de cadena ramificada (Shimada, 1983).

### 2.30. Gluconeogénesis

El término gluconeogénesis es utilizado para incluir los mecanismos y vías que conducen a la conversión de los no carbohidratos en general con la finalidad de transformarlos a glucosa o glucógeno, utilizando como principales sustratos los aminoácidos glucogénicos, lactato, glicerol, y propionato (Mayes, 2001).

Los principales tejidos involucrados en realizar la gluconeogénesis son el hígado y riñón, ya que ambos tienen una dotación completa de las enzimas necesarias para éste proceso (piruvato carboxilasa, fosfoenolpiruvato carboxilasa, fructuosa 1, 6-bisfosfatasa y glucosa 6-fosfatasa). El hígado es el principal órgano formador de glucosa ya que llega a sintetizar hasta el 85 a 90% del total cuando se emplean dietas ricas en fibra empleando como a los gluconeogénicos como principales sustratos, el aporte de cada uno depende del balance energético de la dieta ingerida por el animal (Relling y Mattioli, 2003). El propionato es el único ácido graso glucogénico producido en la digestión de los carbohidratos por rumiantes, así como también el principal precursor hepático, a partir del cual se sintetiza del 25 al 55 % de la glucosa, dependiendo de su producción ruminal, de modo que este porcentaje llega al 65 % cuando la dieta es rica en almidón (Drackley *et al.*, 2001).

Debido a que la mayor parte de la glucosa consumida por los rumiantes es convertida en AGV en el rumen, la cantidad de glucosa que llega intacta al intestino y logra ser absorbida es muy limitada (Figura 17). Esta fracción cubre apenas el 5 al 15 % de los requerimientos cuando la dieta es rica en fibra y llega al 30 % si ésta es rica en almidón con capacidad pasante. Estas características hacen que los rumiantes deban sintetizar la glucosa que necesitan a partir de compuestos no glucídicos (gluconeogénesis). La importancia de la gluconeogénesis en rumiantes de pastoreo alimentados principalmente con forrajes, se debe a que el organismo del animal absorbe cantidades insignificantes de glucosa por el tracto digestivo y su capacidad de almacenamiento de glucógeno en el hígado es limitada (Noro y Wittwer, 2012).

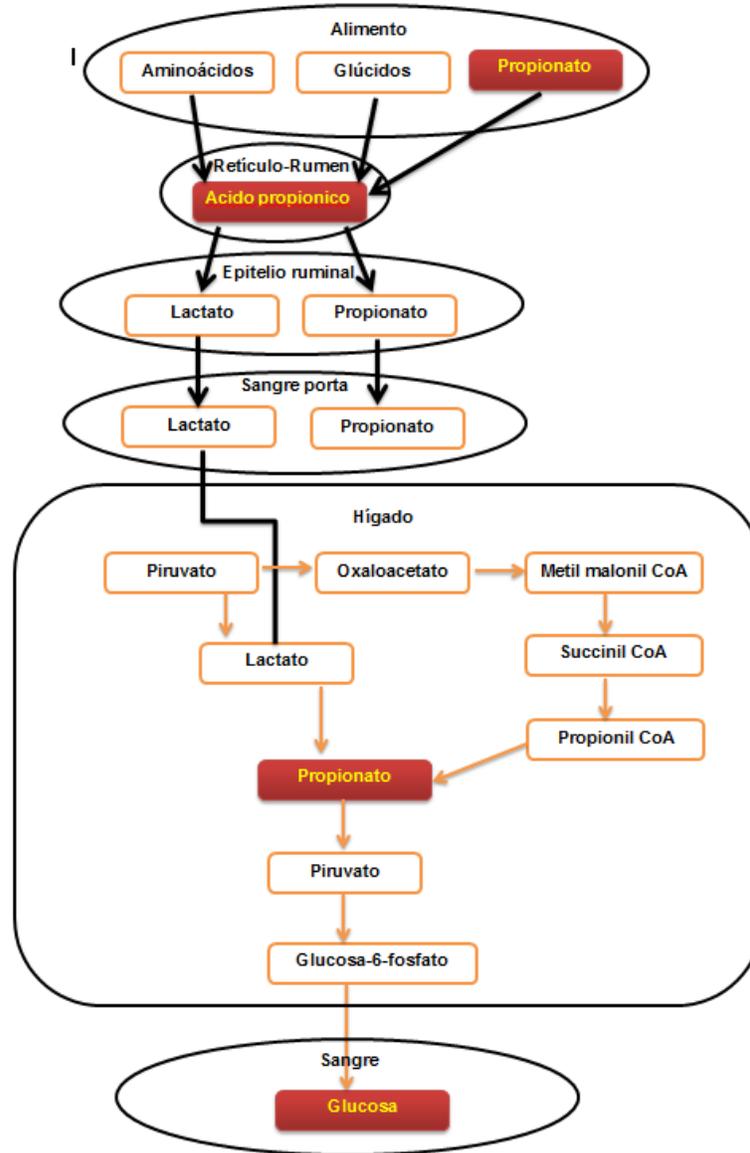


Figura 17. Síntesis de la glucosa (Meyes, 2001).

### 2.31. Precursores de glucosa

Los rumiantes obtienen 25 % o menos de glucosa directamente del almidón, por lo que la gluconeogénesis es la principal la vía para obtener glucosa (Huntington, 1997). Los precursores de glucosa provenientes de la digestión del almidón son

las principales fuentes de carbono para la gluconeogénesis y el propionato es un precursor de glucosa muy importante (Huntington, 2006).

La captación de propionato es alrededor del 70% de la producción neta de glucosa en el hígado; medidas directas muestran un intervalo de 40 al 80% como la máxima contribución teórica de propionato para la gluconeogénesis hepática, y a continuación está la gluconeogénesis por L- lactato y aminoácidos. Propionato y lactato son productos directos de la fermentación y los aminoácidos son en parte proteína microbiana. Sin embargo, aminoácidos y lactato pueden llegar al hígado como productos del ciclo de Cori, la transaminación de aminoácidos glucogénicos (Huntington, 2006).

### **2.32. Utilización de gluconeogénicos en la alimentación de los rumiantes.**

Debido al incremento en el costo de los granos en todo el mundo se han realizado diversos estudios para reemplazar parcialmente a éstos, como es el uso de precursores gluconeogénicos, tales como glicerol, propilenglicol, propionato de calcio (Berthelot *et al.*, 2000).

Se realizaron un estudio en vacas Holsteín al adicionar varios niveles de glicerol en cuatro dietas, con la finalidad de reducir el contenido de granos en las raciones, encontraron que al sustituir los granos con niveles bajos de glicerol no se tienen efectos adversos en la fermentación, digestión o en las bacterias ruminales, sin embargo en dietas con altos niveles de glicerol encontraron que afectan a la digestión de fibra y la población ruminal, así como un impacto negativo de la producción de acetato (Abo El-Nor *et al.* 2010).

Sin embargo han realizado estudios en cuanto al uso de propilenglicol, empleado como precursor gluconeogenico contra la cetosis, vía oral, con la finalidad de aumentar el porcentaje molar de propionato ruminal en el ganado lechero durante el post-parto, al presentarse un déficit de balance energético

debido a la cetosis, tras la administración de propilenglicol, éste será metabolizado a propionato. Encontraron una respuesta reproductiva al aumentar la calidad del cuerpo lúteo así como de progesterona en novillas utilizadas para la implantación de embriones (Hidalgo, 2007).

Por su parte realizaron un estudio para analizar tres fuentes de energía en rumiantes, tales fueron glicerol, propilenglicol y melaza en ovinos. Donde determinaron la fermentación de dichos gluconeogénicos, así como también la producción de gas, reportando que la fermentación de glicerol resultó una reducción de acetato un ligero aumento en propionato y un incremento en el porcentaje de butirato, mientras que con propilenglicol también redujeron acetato y butirato, pero el propionato aumentó el aumento de dosis de fuentes de energía resulta en un mayor volumen de gas producido. La fermentación de glicerol y el aumento de la proporción molar de butirato y propionato eran el producto principal de la fermentación de propilenglicol (Ferraro *et al.* 2009).

### **2.33. Propionato de calcio en rumiantes**

La suplementación de propionato en ovinos se ha empleado en diferentes experimentos de investigación, como es el caso de la utilización de infusiones intraruminales (Martini y Baile, 1972; Villalba y Provenza, 1997a; Villalba y Provenza, 1997b), infusiones intravenosas (Quigley y Heitmann, 1991; Cole y Hallford, 1994; Anil y Forbes, 1998; Lee y Hossner, 2002) además del implementarlo en la ración de dietas para animales en finalización (Berthelot *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2015).

Diversos estudios (Martini y Baile, 1972; Sano *et al.*, 1993) han sugerido al acetato y propionato para posibles funciones en el sistema de retroalimentación en el hambre-saciedad de los rumiantes. Ya que el propionato es un producto del metabolismo ruminal de los carbohidratos, deprime el consumo de alimento en rumiantes. Aunque el mecanismo para la respuesta de la hipofagia no es nuevo,

un fuerte cuerpo de evidencia indican que el hígado es implicado (Bradford y Allen, 2007). Se encontró que al realizar inyecciones intra ruminales de acetato y propionato en el saco dorsal de ovejas y cabras causaron una disminución en el consumo de alimento, ya que han indicado que los cambios en la concentración de fluido ruminal de ácidos grasos volátiles pueden jugar un papel en el control de la ingesta del alimento de los rumiantes (Martini y Baile, 1972; Villalba y Provenza, 1997). Sin embargo, indican que con dietas altas en almidón se favorece la producción de propionato y se disminuye la relación entre CH<sub>4</sub> y materia orgánica fermentada en el rumen (Villalba y Provenza, 1997).

En cuanto a estudios realizados mediante administraciones de propionato intra portal, se determinó que deprime el consumo de alimento en ovejas, ya que ésta acción es dependiente únicamente de una inervación hepática, al ser el propionato la única fuente de energía en rumiantes, podría jugar un rol similar a la glucosa hepática en animales no rumiantes, en el control del consumo alimenticio (Anil y Forbes, 1998).

La suplementación de propionato mediante la alimentación, da lugar al aumento en la concentración de propionato en el rumen sin que se vean afectadas las concentraciones de ácidos grasos volátiles, como butirato e isovalerato (Liu *et al.*, 2009). Mientras que para Van Houtert *et al.* (1993), la suplementación de propionato afecta el flujo de la glucosa, la deposición de grasa y el crecimiento de musculo en borrego. La fermentación ruminal resulta en la degradación de los carbohidratos de la dieta en ácidos grasos volátiles, los rumiantes son totalmente dependientes de la gluconeogénesis, utilizando derivados del acetato y propionato, es una fuente de la circulación de la glucosa. La adición excesiva de energía puede derivar en tejido adiposo, cuando el acetato y propionato son convertidos en lípidos mediante la lipogénesis (Berthelot *et al.*, 2000; Lee y Hossner, 2002).

Sin embargo se ha demostrado que la adición de grano a la dieta incrementa el aporte de almidón y cambios en la fermentación del rumen (Christophersen *et al.*, 2007). Dependiendo del tipo de dieta se puede reducir el

tiempo de retención, cuando contienen alta cantidad de granos en la dieta y el tiempo de retención es más corto comparado con el forraje, debido a esto la producción de metano generalmente es reducida cuando el contenido de granos en la dieta incrementa, esta reducción es indicada por un nivel acetato: propionato y el nivel de pH, han comprobado que un aumento de la disponibilidad de precursores gluconeogénicos aumentará la producción de glucosa (Lana *et al.*, 1998), es por ello que el propionato de calcio, podría ser utilizado para reemplazar en cierta proporción la energía suministrada por los granos implementados de forma fundamental en las dietas de finalización de corderos (Lee *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2015).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Debido a la creciente demanda de los productos de la industria pecuaria, y a la deficiente producción de la misma, se ha hecho eminente el uso de nuevas técnicas en la alimentación de los animales, destinados para la producción de carne, a través de una adecuada y eficaz alimentación, así mismo el análisis de los parámetros productivos de los animales con la finalidad de mejorar su rendimiento en la producción. Para llevar a cabo ese adjetivo es necesario emplear como sustrato a los granos, que tradicionalmente se utilizan en la alimentación tanto humana como animal, lo cual ha incrementado los costos de estos insumos en la alimentación animal. Aunado a todo esto el incremento la creciente demanda de productos de origen animal, a consecuencia por el acelerado incremento de la población, lo que ha propiciado la intensificación de los sistemas de producción pecuaria; ocasionando una mayor necesidad al consumo de cereales y otros insumos para los animales que podrían ser destinados al consumo humano, creándose una competencia de consumo por estos alimentos. Por lo cual, es importante evaluar modificadores metabólicos para maximizar el consumo de energía de rumiantes en diversos sistemas de alimentación. ya que existe la necesidad de emplear nuevas fuentes que aporten energía a los sistemas de alimentación de rumiantes, tal es el caso de los gluconeogénicos, así dando la pauta para implementar métodos con los cuales se busca disminuir los costos de producción, como es el caso del uso de precursores de glucosa como glicerol, propilenglicol o propionato, puede ser una alternativa para sustituir parcialmente los granos y así volver más eficiente la alimentación animal y con eso disminuir los costos de la alimentación. Siendo de ésta manera, la importancia de sustituir los granos por el propionato de calcio mediante la formulación de dietas para proporcionar adecuados suministros en la producción de glucosa en los ovinos en finalización.

#### **4. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la digestibilidad total de la materia seca por la adición de propionato de calcio, sustituyendo granos (maíz y sorgo) en la dieta para ovinos en finalización.

##### **4.1. OBJETIVOS PARTICULARES**

Evaluar el efecto del propionato de calcio como aditivo, en el comportamiento productivo de ovinos en finalización.

Analizar el efecto en la sustitución de grano (maíz y sorgo) por la adición de propionato de calcio con respecto a la digestibilidad de corderos en finalización.

## **5. HIPÓTESIS**

La adición del 1% de propionato de calcio en dietas para la finalización de ovinos, no altera la digestibilidad de la materia seca y disminuye el impacto en el costo de alimentación, debido a la sustitución de hasta un 10 % de los granos en la dieta por 1 % de propionato de calcio.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Centro Universitario Amecameca de la Universidad Autónoma del Estado de México, Amecameca, en la región suroriente del Estado de México. El cual se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas  $19^{\circ} 07' 36''$  de latitud Norte y  $92^{\circ} 46' 01''$  de longitud oeste, su altura sobre el nivel del mar es de 2420 metros.

El clima predominante para el municipio de Amecameca es sub húmedo Cb (w2), con lluvias en verano, la temperatura media anual es de  $18^{\circ}$

Grados centígrados, la temperatura ambiental del mes más frío oscila entre los  $-3^{\circ}$  a  $12^{\circ}$  grados centígrados, la precipitación pluvial promedio de la zona terrestre de este municipio es de 1,200 mm al año.



Figura 18. Localización del lugar en donde se realizó el experimento.

La prueba productiva se llevó a cabo en las instalaciones de la Posta Zootécnica, y los análisis químicos se condujeron en las instalaciones del Laboratorio de Multidisciplinario de Investigación del Centro Universitario Amecameca. Este trabajo se condujo bajo los lineamientos establecidos por el Comité Académico del Departamento de Ciencia Animal, de acuerdo con las regulaciones establecidas por la Ley de Protección Animal de México (Fernández y Heuze, 2007).

El periodo experimental tuvo una duración de 45 días, en el cual se emplearon 18 ovinos (machos criollos cruza con Katahdin) de  $25 \pm 3$  kg de peso vivo inicial, los animales recibieron un manejo de recepción, los cual consistieron en la desparasitación (Ivermectina en una dosis de 0.5 ml/animal) y aplicación de vitaminas (A, D y E en una dosis de 0.5 ml/animal), previo al inicio del experimento.

Los animales fueron distribuidos siguiendo un Diseño Completamente al Azar, en dos tratamientos y nueve repeticiones (ovinos, unidad experimental). Los corderos fueron alojados en corraletas individuales, que están equipadas con comederos y bebederos individuales. Los animales recibieron un periodo de adaptación de 10 días a la dieta experimental, el cual se ofreció dos veces al día (9:00 y 16:00 h), además de libre acceso al agua potable. Los tratamientos consistieron en la inclusión de 0 y 10 gramos de propionato de calcio/ kg de MS.

El aditivo utilizado, propionato de calcio, un producto comercial de la Marca (Bekarem®), según el reporte de la compañía contiene el 78 % ácido propiónico y 22 % calcio, además de su característica, su principal uso es en la industria alimenticia de consumo humano, como conservador, en este caso se uso como aditivo incorporado en dietas para ovinos en finalización.

Las raciones experimentales que fueron proporcionadas a los ovinos, se formularon de acuerdo a los requerimientos nutricionales para ovinos en finalización (NRC, 2007), empleando ingredientes energéticos y proteicos, los cuales se adquirieron en la región; al emplear el propionato de calcio, por ser un

gluconeogénico en rumiantes se balanceara disminuyendo la inclusión de grano, aproximadamente en 20 % de grano e incrementando el forraje (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de inclusión de concentrado en la dieta experimental.

	Inclusión de propionato de calcio, %	
	0	1
Maíz	31.9	16
Sorgo	32.5	35.5
Rastrojo de maíz	17	22.5
Pasta de soya	10.2	11.5
Urea	1	1
Melaza	6	11
Pre-mezcla mineral	0.7	0.5
Buffer*	0.7	1
Propionato de calcio*	0	1
Relación Concentrado:Forraje	83:17	77.5:22.5

\*Buffer: 95 % cenizas, 30 % calcio, 5 % magnesio, 0.5 % azufre, 1.2 % sodio, 575 ppm fósforo, 650 ppm potasio, 9.5 ppm boro, flúor, 1825 ppm hierro, 4 ppm cobalto, 16 ppm cobre, 25 ppm zinc, 2.25 ppm molibdeno, 1 ppm selenio, 160 ppm yodo

\*Bekarem®: Propionato de calcio, 78 % ácido propiónico y 22 % Ca

Se llevó a cabo la elaboración de la dieta experimento (después de balancear los ingredientes), para lo cual, se trituro el rastrojo de maíz con un molino tipo remolque (Triunfo®), el siguiente procedimiento ya con todos los ingredientes listos, con ayuda de una mezcladora horizontal de capacidad de 10 kg con un motor de 2 HP de potencia (Marca Amsterdam®), se mezclaron los ingredientes (maíz, sorgo, rastrojo de maíz, melaza, buffer, pre-mezcla mineral, urea, pasta de soya y dependiendo del tratamiento, propionato de calcio), así para el caso de los

dos tratamientos, (testigo y experimental), posteriormente las dietas fueron almacenadas en costales de nilón bien identificados. La elaboración de las dietas experimentales se llevó a cabo dos veces por semana.

A la dieta experimental se le determinó la composición química; materia seca (MS), cenizas (C) y nitrógeno total (NT) (AOAC, 1990), fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) empleando la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991).

Las variables que se evaluaron en las unidades experimentales (ovinos) fueron el consumo de alimento (materia seca, CMS), las cuales fueron obtenidas al pesar diariamente el alimento ofrecido y el alimento rechazado, los ovinos fueron pesados al inicio del experimento, posteriormente cada 14 días y al igual al concluir el experimento para obtener la ganancia diaria de peso (GDP), y con el análisis de estas variables se obtuvieron la conversión alimenticia, la eficiencia alimenticia y para así se determinó la ganancia total de peso.

Durante tres días consecutivos se tomaron las muestras de excretas (aproximadamente 150 g de excretas), directamente del ano de cada animal, las excretas se introdujeron en bolsas de plástico transparentes y se identificaron con el número de la unidad experimental y tratamiento del que corresponden, con la finalidad de conocer la digestibilidad total de la materia seca, mediante la técnica de cenizas ácido insolubles.

Las muestras frescas, se colocaron cada una, en recipientes individuales (platos de aluminio), identificados con el número de la unidad experimental (animal) y tratamiento correspondiente (con y sin propionato de calcio), y se introdujeron a una estufa de secado (Binder®), en donde permanecieron tres días a una temperatura promedio de 80° C, con la finalidad de secarlas, y posteriormente fueron molidas (Arthur, B Thomas®), y colocadas nuevamente en bolsas transparentes que igualmente fueron identificadas.

Los resultados obtenidos fueron analizados siguiendo un Diseño Completamente al Azar, utilizando el PROC GLM de SAS (SAS, 2005) y empleado dos

tratamientos (0 y 10 gramos de propionato de calcio/ kg de MS), con y nueve repeticiones (unidades experimentales). Empleando el peso inicial como covariable, para ajustar la respuesta, debido a la gran diferencia existente entre los pesos de los tratamientos.

## **7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El uso de propionato de calcio al 1 %, implementado en dietas para ovinos en finalización, no mejoro las variables productivas: consumo de alimento, conversión alimenticia, ganancia diaria de peso y consumo de agua, (Cuadro 5), lo que concuerda con lo reportado por Lee *et al.* (2012) al implementar concentraciones al 1 % de propionato de calcio. A diferencia de lo utilizado por otros autores en donde utilizan concentraciones altas de propionato de calcio (5 %) implementadas en las dietas de ovinos en finalización en donde los animales presentaron problema digestivo determinado como la reducción del consumo hipofagia (Oba y Allen, 2003).

### **7.1. Consumo de alimento**

El consumo de alimento no tubo diferencias significativas (Cuadro 5) al no incrementarse la ingesta del alimento para los ovinos que se le ofreció una dieta balanceada con 1% de propionato de calcio, lo cual coincide con Lee (2011) en un experimento con ovinos criollos en donde encontraron que la adición de 1 % de propionato de calcio en dietas con el 55 a 65 % de grano no modifico el comportamiento productivo, de igual manera no entro diferencias en el consumo de alimento. Por su parte Liu *et al* (2009) mencionan que las variaciones en el consumo de alimento dependen más de la proporción forraje: concentrado que se incluyeron en la dieta; por esta razón la adición de propionato de calcio al 1 % en este experimento determino que los corderos en finalización no mostraron diferencias en el consumo de alimento.

## **7.2. Conversión alimenticia**

La conversión alimenticia (Cuadro 5) no fue afectada por el nivel de grano en la dieta, observando que numéricamente presenta mejor respuesta con la adición del 1 % de propionato de calcio, debido a que disminuye el consumo de alimento lo que concuerda con Berthelot *et al.*, (2000).

## **7.3. Ganancia diaria de peso**

La ganancia diaria de peso muestra un efecto positivo de acuerdo al consumo de la dieta con la inclusión de propionato de calcio al 1 % (Cuadro 5), dando lugar a que el tratamiento tiene mejores resultados en comparación con el tratamiento testigo, lo que concuerda con lo reportado con Mendoza *et al.*, (2016), en donde el efecto de la adición de propionato de calcio en la dieta de corderos en finalización mostro un resultado favorable en cuanto a la ganancia de peso.

Cuadro 4. Efecto de propionato de calcio en la respuesta productiva de ovinos en finalización

	Propionato de calcio, %		EEM	P
	0	1		
Peso Inicial, kg	20.84	24.42	1.57	0.127
Peso Final, kg	34.45 <sup>b</sup>	38.14 <sup>a</sup>	1.22	0.0001
Ganancia Diaria de Peso, kg	0.358	0.360	0.03	0.058
Consumo de Alimento, kg	1.37 <sup>a</sup>	1.42 <sup>b</sup>	0.05	0.0001
Consumo de Agua L.	2.77	2.86	0.20	0.908
Conversión Alimenticia, kg	4.86	4.04	1.01	0.469
Digestibilidad	81.33 <sup>a</sup>	78.69 <sup>b</sup>	0.65	0.0009

#### 7.4. Digestibilidad

La digestibilidad se observó que existió diferencias significativas, la cual aumento linealmente con el uso de propionato de calcio ( $P < 0,05$ ) realizando una comparación del tratamiento y el testigo (Figura 19), lo cual concuerda con lo obtenido por Lee (2011). Por otra parte Martínez *et al* (2010) menciona que en dietas con altos contenidos energéticos altamente fermentables (Granos), provocan un aumento en la producción de AGVS que acidifican el medio ruminal por lo que inhiben la función de los microorganismos ruminales, y por lo tanto la velocidad de pasaje aumenta provocando una disminución en la asimilación de los nutrientes que llegan al rumen, mermando así la digestibilidad de los mismos, efecto que se disminuyó a medida del uso de propionato de calcio sustituyendo cierto porcentaje de granos y así mejorando la digestibilidad de la materia seca.

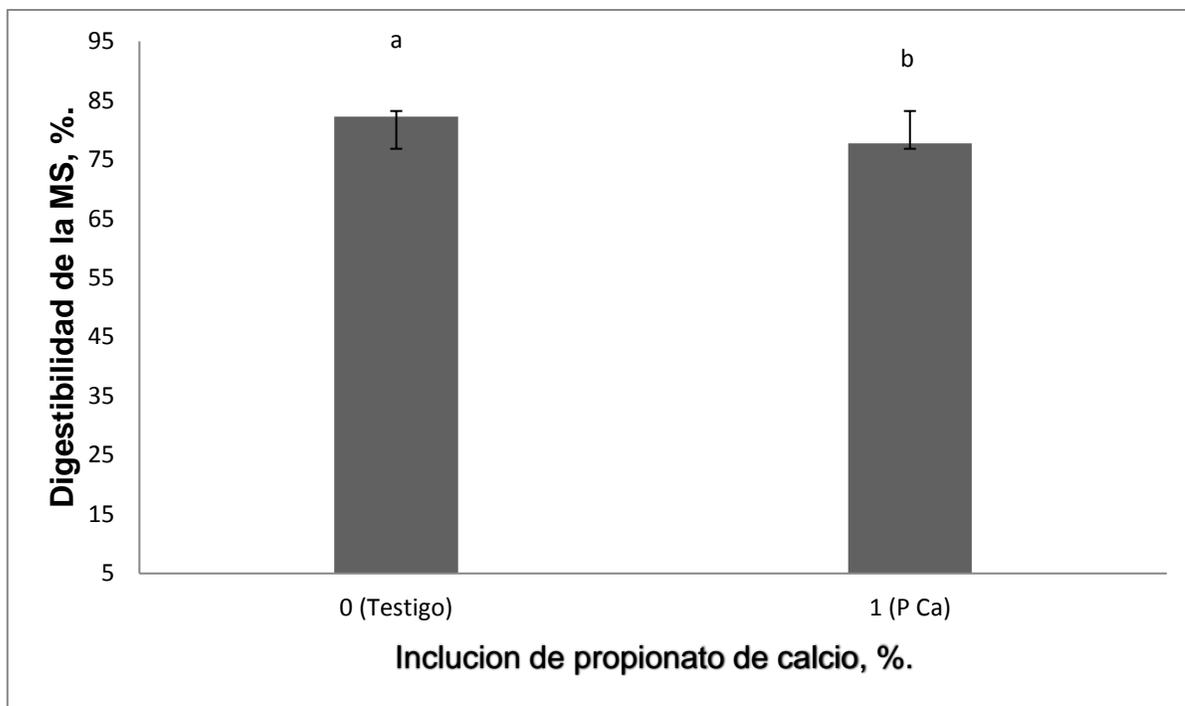


Figura 19. Efecto de digestibilidad de la materia Seca por la inclusión de propionato de calcio en dietas de finalización de ovinos.

## 8.- CONCLUSIONES

La adición de propionato de calcio en las dietas para ovinos en finalización mantiene las variables productivas, como peso final, consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, de igual manera cabe señalar que la digestibilidad del alimento no fue afectada, por lo tanto se concluye que se puede sustituir un 10 % de grano en las dietas de ovinos en finalización, por 1 % de propionato de calcio y obtener ganancias productivas similares que ofrece una dieta convencional utilizada para la finalización de ovinos.

## 9.- BIBLIOGRAFÍA

- Abo El-Nor, S., AbuGhazaleh, A. A., Potu, R. B., Hastings, D. y Khattab, M. S. A. (2010). Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Anim. Feed Sci. Technol.* Vol. 5 Pp. 7.
- Ahring, B. K., Sandberg, M., & Angelidaki, I. (1995). Volatile fatty acids as indicators of process imbalance in anaerobic digestors. *Applied microbiology and biotechnology*, 43(3), 559-565.
- Anil, M. H., & Forbes, J. M. (1988). The roles of hepatic nerves in the reduction of food intake as a consequence of intraportal sodium propionate administration in sheep. *Experimental Physiology*, 73(4), 539-546.
- Armenta, R. Á., & Peña-Valdivia, C. B. (2009). Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. *J Prof Assoc Cactus*, 11, 26-44.
- Aranda Ibáñez, E. M., & Ibáñez, E. M. A. (2000). *Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes* (No. 04; TESIS.).
- Aronen, E. M. (2000). Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. Tesis doctoral. FMVZ. Universidad Autónoma de México, D.F. 90p.
- Arteaga, C.J.D. (2006). Situación de la ovinocultura y sus perspectivas. Memorias. Primera semana Nacional de la ovinocultura. Hidalgo, México. pp 610-623.
- Arteaga, J. D. (2008). La ganadería ovina en México, situación actual, retos y perspectivas. In *II Congreso Rentabilidad de la Ganadería Ovina. Ed. Congresos Feed y la Revista del Borrego. Gro, México.*
- Bañuelos, O. T., Mendoza, M. G. D., Rodríguez, O. J. L., & Muñoz, O. A. (1995). Evaluación forrajera de 18 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Montecillo, México. *Rev. Fac. Agron.(KUZ)*, 12, 71-79.

- Beauchemin, K. A., Yang, W. Z., & Rode, L. M. (1999). Effects of Grain Source and Enzyme Additive on Site and Extent of Nutrient Digestion in Dairy Cows<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science*, 82(2), 378-390.
- Beever, D. E. (1993). Ruminant animal production from forages—present position and future opportunities. *M. Baker M.(Eded.) Grassland for our World. SIR Publishing, Wellington.*
- Béguin, P., & Aubert, J. P. (1994). The biological degradation of cellulose. *FEMS microbiology reviews*, 13(1), 25-58.
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological reviews*, 70(2), 567-590.
- Berthelot, V., Bas, P., Schmidely, P., Duvaux-Ponter, C., & Sauvant, D. (1998). Effect of dietary propionate on fatty acid composition of lamb adipose tissues. In *Proceedings of the 8th Meeting on Nutrition of Sheep and Goats INAPG-Grignon, France* (p. 75).
- Berthelot, V., Bas P., Schmidely P., Duvaux-Ponter C., y sauvant D. (2000). Effect of dietary propionate on fatty acid composition of lamb adipose tissues. *Cahiers options Mediterraneennes*. 52,133-135.
- Bhat, M. K., & Hazlewood, G. P. (2001). Enzymology and Other 2. *Enzymes in farm animal nutrition*, 11.
- Bradford, B. J., Gour, A. D., Nash, A. S., & Allen, M. S. (2006). Propionate challenge tests have limited value for investigating bovine metabolism. *The Journal of nutrition*, 136(7), 1915-1920.
- Bradford, B. J., & Allen, M. S. (2007). Phlorizin administration does not attenuate hypophagia induced by intraruminal propionate infusion in lactating dairy cattle. *The Journal of nutrition*, 137(2), 326-330.
- Calsamiglia, S., & Ferret, A. (2002). Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. *XVIII Curso de Especialización. Fundación*

*Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Eds. CP Ga Rebollar, GG De Blas y Mateos. Madrid, España.*

Christophersen, C. T., Wright, A. D., & Vercoe, P. E. (2008). In vitro methane emission and acetate: propionate ratio are decreased when artificial stimulation of the rumen wall is combined with increasing grain diets in sheep. *Journal of animal science*, 86(2), 384-389.

Church, D. C. (1991). *Livestock feeds and feeding* (No. Ed. 3). Prentice Hall.

Church, D.C., Pond, W.G. y Pond, K.R. (2002). Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales.

Cole, N. A., & Hallford, D. M. (1994). Influence of a propionate load in fed or unfed lambs on blood metabolites and hormone patterns. *Journal of animal science*, 72(8), 2141-2148.

Correa, H. J., Pabón, M. L., & Carulla, J. E. (2009). Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development*, 21(4).

Dawson, R. M. C., Hemington, N., Grime, D., Lander, D., & Kemp, P. (1974). Lipolysis and hydrogenation of galactolipids and the accumulation of phytanic acid in the rumen. *Biochemical Journal*, 144(1), 169-171.

De Lucas, T. J., & Arbiza, A. S. (2006). Situación y perspectivas de la producción de carne ovina en México. *Memorias del curso de produ*

Dijkstra, J., & Tamminga, S. (1995). Simulation of the effects of diet on the contribution of rumen protozoa to degradation of fibre in the rumen. *British Journal of Nutrition*, 74(5), 617-634.

Doerner, K. C., & White, B. A. (1990). Assessment of the endo-1, 4-beta-glucanase components of *Ruminococcus flavefaciens* FD-1. *Applied and environmental microbiology*, 56(6), 1844-1850.

Doreau, M.Y. Chilliard. (1997). Digestion and metabolism of dietary fat in farm animal. *Brit. J. Nutr.* (7), 915-35

- Drackley, J. K., Overton, T. R., & Douglas, G. N. (2001). Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*, 84, E100-E112.
- Dreher, M. L., Dreher, C. J., Berry, J. W., & Fleming, S. E. (1984). Starch digestibility of foods: a nutritional perspective. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 20(1), 47-71.
- Ensminger, M. E. (1990). Feeds and nutrition/Ensminger ME, Oldfield JE. *Heinemann WW—The Ensminger publishing company*, 648, 754.
- INEG. (2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Fototeca. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. Consulta 17 de Marzo 2018 en: <http://intranet.inegi.gob.mx/servicios/difusi%c3%b3n/fototeca/paginas/default.aspx>. México. INEGI.
- FAO (2014) Evolución mundial del consumo de la carne., [http://www.3tres3.com/fao-evolucion-mundial-delconsumo-de-carne\\_30869/](http://www.3tres3.com/fao-evolucion-mundial-delconsumo-de-carne_30869/). Consultado 23 de marzo del 2016.
- FAO. Consultado el 05/01/15. Disponible en línea: [http://www.fao.org/ag/againinfo/programmes/es/lead/toolbox/Paper127/cove\\_r1.htm](http://www.fao.org/ag/againinfo/programmes/es/lead/toolbox/Paper127/cove_r1.htm)
- FAO. Consultado el 05/04/16. Disponible en línea: [http://www.fao.org/ag/againinfo/programmes/es/lead/toolbox/Paper127/cove\\_r1.htm](http://www.fao.org/ag/againinfo/programmes/es/lead/toolbox/Paper127/cove_r1.htm)
- Fell, B. F., & Weekes, T. E. C. (1975). Food intake as a mediator of adaptation in the ruminal epithelium. *Digestion and Metabolism in the Ruminant*, 101-118.
- Fernández Hernández, J., & Heuze de Icaza, Y. M. (2007). El programa interno para el cuidado y uso de los animales de laboratorio en las instituciones biomédicas docentes, de investigación científica e industria farmacéutica. *Acta bioethica*, 13(1), 17-24.

- Ferraro, S. M., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., & Gutiérrez, C. G. (2009). In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 154(1), 112-118.
- Figueredo, L. (2005). Los ovinos. Una producción de bajos insumos; Cuba. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090905.html>
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2014). Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación Económica y Sectorial, Subdirección de Investigación Económica. Maíz 2014. Consultado el 10/06/2015. Disponible en línea en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2015). Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación Económica y Sectorial, Subdirección de Investigación Económica. Sorgo 2014. Consultado el 10/06/2015. Disponible en línea en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>
- Forsberg, C., & Cheng, K. J. (1992). Molecular strategies to optimize forage and cereal digestion by ruminants. In *Biotechnology and nutrition* (pp. 109-147).
- Franco, M. H. (2000). Efecto de la edad de corte sobre la degradabilidad ruminal in situ y la solubilidad de la proteína de *Cratylia argentea*. *Memorias IV Taller Internacional Silvopastoril " Los árboles y arbustos en la ganadería tropical". EEPF" Indio Hatuey". Matanzas, Cuba*, 105.
- García Castillo, R. F. (2003). Efecto del bicarbonato de sodio y un cultivo de levadura viva (*Saccharomyces cerevisiae*) en raciones para corderos sobre el consumo, digestibilidad, parámetros ruminales y características de la canal.
- Garton, G. A., Lough, A. K., & Vioque, E. (1961). Glyceride hydrolysis and glycerol fermentation by sheep rumen contents. *Microbiology*, 25(2), 215-225.

- Guerra, G.E.H. (2011). Influencia de dos niveles de almidón en la dieta sobre la producción de metano de cabras murciano-granadinas en lactación. Tesis de Máster en Producción Animal. Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 23.
- Harrison, D. G., Beever, D. E., Thomson, D. J., & Osbourn, D. F. (1975). Manipulation of rumen fermentation in sheep by increasing the rate of flow of water from the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 85(1), 93-101.
- Hawksworth, J. (2006). The world in 2050. Price wáter house Coopers, March 2006.
- Helbert, W., Schülein, M., & Henrissat, B. (1996). Electron microscopic investigation of the diffusion of *Bacillus licheniformis*  $\alpha$ -amylase into corn starch granules. *International Journal of Biological Macromolecules*, 19(3), 165-169.
- Herrera-Saldana, R., & Huber, J. T. (1989). Influence of Varying Protein and Starch Degradabilities on Performance of Lactating Cows<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science*, 72(6), 1477-1483.
- Hidalgo, O.C.O., Tamargo, M.C., Gómez, P.E., Facal, F.N. y Díez, M.C. (2007). El propilenglicol mejora los resultados de la transferencia de embriones. *Tecnología Agroalimentaria*. 4:33-37.
- Hobson, P. N., & Summers, K. (1966). Effect of growth rate on the lipase activity of a rumen bacterium. *Nature*, 209(5024), 736-737.
- Hungate, R. E. (1982). La Celulosa en la Nutrición Animal. Department of Bacteriology, University of California, Davis. Traducido por: CECSA. Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología, A. C. 2a. Impresión. México.
- Huntington, B. G. (1997). Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75 : 852 -867.

- Huntington, G. B., Harmon, D. L., & Richards, C. J. (2006). Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *Journal of animal science*, 84(13\_suppl), E14-E24.
- ICAMEX, (2013), Investigación y capacitación agropecuaria acuícola y forestal. Departamento de investigación pecuaria. Consultado en: [www.edomex.gob.mx/icamex](http://www.edomex.gob.mx/icamex).
- Ingle, M.R., Erickson, R.J. (1978). Bacterial alpha- amylases. *Adv. Appl. Microbiol.* Pp. 24: 257-278.
- Jenkins, T. C. (1993). Strategies for including fat in dairy rations. In *Proc. Clemson Dairy Conf., Clemson, SC* (pp. 14-25).
- Kawas, G.J. (2005). Alimentación de ovinos en corrales de engorda. Memorias 3er ciclo de conferencia ``La producción ovina de nuevo león``.
- Kotarski, S. F., Waniska, R. D., & Thurn, K. K. (1992). Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *The Journal of nutrition*, 122(1), 178.
- lambs: Effects of grain (starch) and protein sources with various rates of ruminal degradation. *J. Anim. Sci.* 69:339.
- Lana, R. P., Russell, J. B., & Van Amburgh, M. E. (1998). The role of pH in regulating ruminal methane and ammonia production. *Journal of animal science*, 76(8), 2190-2196.
- Lapierre, C. (1993). Application of new methods for the investigation of lignin structure. *Forage cell wall structure and digestibility*, (foragecellwalls), 133-166.
- Lee, S. H., & Hossner, K. L. (2002). Coordinate regulation of ovine adipose tissue gene expression by propionate. *Journal of animal science*, 80(11), 2840-2849.
- Lee Rangel, H. A. (2011). Utilización de propionato de calcio en borregos. Colegio de posgraduados. PP. 3; 10.

- Lee-Rangel, H. A., Mendoza, G. D., & González, S. S. (2012). Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal feed science and technology*, 177(3), 237-241.
- Leupolz, W. (2000). Manual de crianza y explotación de ovejas de pelo en los tropicos.
- Liu, Q., Wang, C., Guo, G., Yang, W. Z., Dong, K. H., Huang, Y. X., ... & He, D. C. (2009). Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *The Journal of Agricultural Science*, 147(2), 201-209.
- Macedo, R., & Castellanos, Y. (2004). Rentabilidad de un sistema intensivo de producción ovino en el trópico. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 8(3).
- Matras, J., Bartle, S. J., and Bartle, R. L. X. (1991). Nitrogen utilization in growing
- Martini, F. H., y Baile, C. A. (1972). Feed Intake of Goats and Sheep Following Acetate or Propionate Injections into Rumen, Ruminant Pouches, and Abomasum as Affected by local Anesthetics. *J. Dairy Sci.* 55(5), 606-613.
- Mayes, P.A. (2001). Gluconeogénesis y control de la glucosa sanguínea. En: *Bioquímica de Harper*. Murray, R.K., Mayes, P.A., Granner, D.K. y Rodwell, V.W. *Manual Moderno*. 15ª edición. Pp: 243-254.
- Mc Donald, P., Eduard R.A. (1995). *Animal nutrition* 5Ed. Traduced: Arias Sanz Ed Acribia. España.
- Mc Donald, P., Edwards, R. y Greenhalgh, J.E.D. (1993). *Nutrición animal*. 4. a Edición. Ed. Acribia. Pp:571.
- McBurney, M. I., Van Soest, P. J., & Chase, L. E. (1981). Cation exchange capacity of various feedstuffs in ruminant rations. In *Proceedings Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*.

- Medrano, J. A. (2000). Recursos animales locales del centro de México. *Archivos de zootecnia*, 49(187).
- Mejía Haro, J., Delgado Hernández, J. L., Mejía Haro, I., Guajardo Hernández, I., & Valencia Posadas, M. (2011). Efectos de la suplementación con bloques multinutricionales a base de nopal fermentado sobre la ganancia de peso de ovinos en crecimiento. *Acta Universitaria*, 21(1).
- Méndez Serrano, H., Remis Tosca, A., Leyva Guevara, C., González Marín, E., Gonzalez García, O., & Macias Sainz, A. (1974). Alimentación y manejo de ganado vacuno.
- Mendoza Martínez, G. D., Plata Pérez, F. X., Ramírez Mella, M., Mejia Delgadillo, M. A., Lee Rangel, H., & Bárcena Gama, R. (2007). Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Revista Científica*, 17(1), 66-72.
- Mendoza, M. G. D., & Ricalde, V. R. (1993). Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano. *Universidad Autónoma Metropolitana. Cap*, 9, 97.
- Mendoza-Martínez, G. D., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-Rangel, H. A., Hernández-García, P. A., Rojo-Rubio, R., & Relling, A. (2015). Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*, 56(7), 1194-1198.
- Mendoza-Martínez, G. D., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-rangel, H.A., Hernández-García, P. A., y Relling, A. (2016). Effect of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*, 56(7), 1194-1198.
- Meyes, P. A. (2001). Gluconeogenesis y control de la glucose sanguínea. En: Murray, R.K., Mayes, P:A., Granner, D.K. y Rodwell, V.W. *Bioquímica de Harper*, 243-254.
- Michalet-Doreau, B., Fernandez, I., Peyron, C., Millet, L., & Fonty, G. (2001). Fibrolytic activities and cellulolytic bacterial community structure in the solid

- and liquid phases of rumen contents. *Reproduction Nutrition Development*, 41(2), 187-194.
- Miller, T. P., Tucker, W. B., Hogue, J. F., Shin, I. S., & Adams, G. D. (1993). Effects of calcium chloride on prepartum udder edema and plasma and urine electrolytes in Holstein heifers. *Animal Science Research Report*, 933, 167-174.
- Mora Jaimes, G., Bárcena Gama, R., Mendoza Martínez, G. D., González Muñoz, S. S., & Herrera Haro, J. G. (2002). Respuesta productiva y fermentación ruminal en borregos alimentados con grano de sorgo tratado con amilasas. *Agrociencia*, 36(1).
- Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, J. (2000, May). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 3, pp. 231-253). EDP Sciences.
- Nisbet, D. J., & Martin, S. A. (1991). Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Journal of Animal Science*, 69(11), 4628-4633.
- Noro, M., & Wittwer, F. (2012). Interrelaciones entre ureagénesis y gluconeogénesis hepática en rumiantes alimentados con elevado contenido de nitrógeno. *Veterinaria México*, 43(2), 143-154.
- NRC, (2007). Nutrient Requirements of small Ruminants, animal Nutrition series National Research Council. The national Academies Press, pp. 223; 230.
- Or-Rashid, M. M., Odongo, N. E., & McBride, B. W. (2007). Fatty acid composition of ruminal bacteria and protozoa, with emphasis on conjugated linoleic acid, vaccenic acid, and odd-chain and branched-chain fatty acids. *Journal of animal science*, 85(5), 1228-1234.
- Orskov, E. R., Flatt, W. P., & Moe, P. W. (1988). Fermentation balance approach to estimate extent of fermentation and efficiency of volatile fatty acid formation in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 51(9), 1429-1435.

- Oba, M., & Allen, M. S. (2003). Effects of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 174-183.
- Owens, F.N., and Goestch, A.L. (1998). Ruminal fermentation. In: D.C. Church (Ed). *The ruminant animal: Digestive Physiology and nutrition*. prentice hall. Englewood cliffs Pp.140-170.
- Palmquist, D. L., & Kinsey, D. J. (1994). Lipolysis and biohydrogenation of fish oil by ruminal microorganisms. *J. Dairy Sci*, 77(Suppl 1), 350.
- Partida de la Peña, J.A., Braña, V. D., Giménez, S. H., Ríos, R. F.G. y Buendía, R.G. (2013) *Producción de carne ovina*. Centro nacional de investigación disciplinaria en fisiología y mejoramiento animal. ISBN: 978-607-37-0036-8 Ajuchitlán, Qro. Libro Técnico No. 5 pp. 6-31.
- Pond, W. G., Church, D. C., & Pond, K. R. (2002). *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*.
- PROGRAN (2015). Programa Nacional Ganadero SAGARPA.<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/programas/paginas/PROGRAM.asp>
- Quigley, J. D., & Heitmann, R. N. (1991). Effects of propionate infusion and dietary energy on dry matter intake in sheep. *Journal of animal science*, 69(3), 1178-1187.
- Relling, A. E., & Mattioli, G. A. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. *Fac. Ciencias Veterinarias. Argentina: Universidad Nacional de La Plata*.
- Rodriguez, GF., Llamas, LG., (1990). Manual de técnicas de investigación en rumiología. En: Castellanos, RA., Llamas, LG., Shimada AS. Manual de técnicas de investigación en rumiología. Publicado Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México.

- Rojo-Rubio, R., Mendoza-Martínez, G. D., Montañez-Valdez, O. D., RebollarRebollar, S., Cardoso-Jiménez, D., Hernández-Martínez, J., & GonzálezRazo, F. J. (2007). Enzimas amilolíticas exógenas en la alimentación de rumiantes. *Universidad y Ciencia*, 23(2).
- Rooney, L. W., & Pflugfelder, R. L. (1986). Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1607-1623.
- Rusell, R. y Gahr, J. (2000). Farm animal metabolism and nutrition. Ed. CABI Publishing. Pp. 438
- Sáenz, G. A. (2007). Ovinos y caprinos. FACA; Managua, Nicaragua.
- SAGARPA, (2015). Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/delegaciones/jalisco/boletines/paginas/B0502014.aspx>
- Sano, H., Hattori, N., Todome, Y., Tsuruoka, J., Takahashi, H., & Terashima, Y. (1993). Plasma insulin and glucagon responses to intravenous infusion of propionate and their autonomic control in sheep. *Journal of animal science*, 71(12), 3414-3422.
- SAS, (2000). Statical Analysis System. SAS Institute. Cary, NC, EEUU:
- Seal, C. J., & Reynolds, C. K. (1993). Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. *Nutrition Research Reviews*, 6(1), 185-208.
- Seré, C., Steinfeld, H., & Groenewold, J. (1996). *World livestock production systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Shimada, A. S. (1983). Fundamentos de nutrición animal comparativa. 1e d. *Consultores en producción animal. México. 258p.*
- SIAP, (2014). Servicio de información agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. [hptt://www.siap.gob.mx/ganadería-resumen-estatal-pecuario/](http://www.siap.gob.mx/ganadería-resumen-estatal-pecuario/)

- SIAP. (2015). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. SAGARPA.[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=29](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=29). Consultado 9 de mayo del 2016.
- Tamminga, S., & Williams, B. A. (1998). In vitro techniques as tools to predict nutrient supply in ruminants. *BSAS OCCASIONAL PUBLICATION*, 1-12.
- Ulloa-Arvizu, R., Gayosso-Vázquez, A., & Alonso Morales, R. A. (2009). Origen genético del ovino criollo mexicano (*Ovis aries*) por el análisis del gen del Citocromo C Oxidasa subunidad I. *Técnica pecuaria en México*, 47(3).
- VanHoutert, M. F. J., Nolan, J. V., & Leng, R. A. (1993). Protein, acetate and propionate for roughage-fed lambs. 2. Nutrient kinetics. *Animal Science*, 56(3), 369-378.
- VanNivel, C biohydrogenation soybean oil by rumen contents in vitro. *Reproduction Nutrition Development*, 36(1), 53-63.
- of. J., & Demeyer, D. I. (1996). Influence of pH on lipolysis and
- VanSoest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, Ithaca. NY. Pp: 76.
- VanSoest, P.J. Robertson J.B. Lewis B.A. (1991). Methods for dietary fiber. Neutral detergent fiber, and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J.airy Science.*; 74pp.
- Villalba, J. J., & Provenza, F. D. (1997a). Preference for wheat straw by lambs conditioned with intraruminal infusions of starch. *British Journal of Nutrition*, 77(2), 287-297.
- Villalba, J.J. y Provenza, F.D. (1997b). Preference for flavored wheat straw by lambs conditioned whit intraruminal infisions of acetate and propionate. *J. A. Sci.* 75:2905-2914.
- Wu, Z., Ohajuruka, O. A., & Palmquist, D. L. (1991). Ruminant Synthesis, Biohydrogenation, and Digestibility of Fatty Acids by Dairy Cows<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science*, 74(9), 3025-3034.

- Yokohama, M.T. and Johnson, K.A. (1993). Microbiología del rumen e intestino. In: El rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición. C. D. Church (Ed). Editorial acriba, Zaragoza, España. Pp. 137-159.
- Zinn, R. A., Owens, F. N., & Ware, R. A. (2002). Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 80(5), 1145-1156.