



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**EFFECTO DE LOS NIVELES DE PROTEÍNA SOBRE  
EL COMPORTAMIENTO METABÓLICO Y  
PRODUCTIVO DE OVINOS DE PELO EN  
CONDICIONES TROPICALES**

**TESIS**

Que presenta:

**Gerardo Aguilar Gutiérrez**

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias en Producción Pecuaria Tropical**

**Director de tesis:**

Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa

Conkal, Yucatán. México

Febrero 2022





Conkal, Yucatán, México, a 28 de febrero de 2022

El comité de tesis del candidato a grado: Gerardo Aguilar Gutierrez, constituido por los CC., Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa, Dr. Julio Porfirio Ramón Ugalde, Dr. Ángel Trinidad Piñeiro Vázquez y M. en C. Maricela Adelaida Canul Solís habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Efecto de los niveles de proteína sobre el comportamiento metabólico y productivo de ovinos de pelo en condiciones tropicales**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Pecuaria Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

**ATENTAMENTE**

Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa

Director de Tesis

Dr. Julio Porfirio Ramón Ugalde

Co-director de Tesis

Dr. Ángel Trinidad Piñeiro Vázquez

Asesor de Tesis

M. en C. Maricela Adelaida Canul Solís

Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 28 de febrero de 2022.

## DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

---

Gerardo Aguilar Gutiérrez

## ÍNDICE GENERAL

<b>Resumen</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	7
<b>I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	8
1.1 Introducción .....	8
1.2 Antecedentes .....	9
1.2.1 Panorama mundial de la producción de bovinos para carne .....	9
1.2.2 Panorama mundial de la producción de ovinos para carne .....	10
1.2.3 Situación actual de la producción de bovinos y ovinos para carne en México .....	12
1.2.4 Sistemas de producción de ovinos y bovinos para carne .....	17
1.2.5 Contexto mundial de los granos de cereales y su importancia en la producción animal .....	20
1.2.6 Fermentación ruminal del almidón .....	23
1.2.7 Precursores de glucosa .....	24
1.2.8 Propionato en nutrición de rumiantes .....	25
1.3 Hipótesis .....	26
1.4 Objetivos .....	26
1.4.1 Objetivo general.....	26
1.4.2 Objetivos específicos .....	26
1.5 Procedimiento experimental .....	27
1.5.1 Localización y características del área de estudio.....	27
1.5.2 Animales y manejo.....	27
1.5.3 variables a evaluar.....	28
1.5.4 Análisis estadísticos .....	30
1.5.5 Técnica de gas in vitro .....	30
1.6 Literatura citada .....	34
2.1 RESUMEN .....	42
2.4 LITERATURA CITADA .....	45



## Resumen

La producción intensiva de ganado basa su alimentación en granos y oleaginosas limitando la rentabilidad de productores debido al alto costo de insumos alimenticios. Existen fluctuaciones climáticas que afectan la disponibilidad de biomasa y la calidad nutricional de los insumos. Para que un animal presente su potencial para ganancia de peso y conversión alimenticia, es necesario atender sus necesidades de proteína, energía, minerales y vitaminas. Se ha observado que conforme se incrementa la concentración de proteína en la dieta se producen cambios importantes en el ambiente ruminal. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del incremento de niveles de Proteína Cruda (PC) sobre el consumo, ganancia de peso, fermentación ruminal y rendimiento productivo en ovinos Pelibuey. Se utilizaron 18 ovinos con peso vivo promedio de  $13.59 \pm 3.50$  kg fueron alimentados por 75 días en jaulas metabólicas individuales con tres dietas experimentales de tres niveles de PC (14, 16 y 18%) con un diseño completamente al azar para medir repetidamente Consumo de Materia Seca (CMS), Ganancia de Peso Diario (GPD), Conversión Alimenticia y Fermentación ruminal. Se encontró que el incremento de la PC en la dieta no afectó el CMS ( $P > 0.07$ ). La GPD incrementó ( $P < 0.05$ ) conforme incrementaba el porcentaje de proteína. La eficiencia alimentaria no se vio significativamente afectada ( $P > 0.05$ ) por los diferentes niveles de proteína en la dieta, con respecto a la conversión alimenticia, no se observaron diferencias en los tratamientos. El pH ruminal ( $\bar{X} = 6.69$ ) y el ácido acético fueron similares entre tratamientos ( $P > 0.05$ ), mientras que el ac. propiónico tendió a subir en las dietas con 18% de PC y los ac. butírico y valérico decrecieron respectivamente ( $P < 0.05$ ). Se concluye que incrementar el nivel de PC arriba del 14% en la dieta no afecta el consumo de materia seca y mejora tanto la eficiencia de conversión alimenticia como la ganancia de peso.

**Palabras clave:** Ovinos Pelibuey, dietas proteicas, comportamiento productivo, fermentación ruminal, fluctuaciones cíclicas.

## Abstract

Intensive livestock production bases its diet on grains and oilseeds, limiting the profitability of producers due to the high cost of feed supplies. There are climatic fluctuations that affect the availability of biomass and the nutritional quality of the supplies. For an animal to accomplish its potential for weight gain and feed conversion, it is necessary to attend its needs for protein, energy, minerals and vitamins. It has been observed that as the concentration of protein in the diet increases, important changes take place in the ruminal environment. The objective of the study was to evaluate the effect of increasing Crude Protein (CP) levels on intake, weight gain, ruminal fermentation and productive performance in Pelibuey sheep. Eighteen sheep with an average live weight of  $13.59 \pm 3.50$  kg were fed for 75 days in individual metabolic cages with three experimental diets with three levels of CP (14, 16 and 18%) with a completely randomized design to repeatedly measure consumption of Dry Matter (DMI), Daily Weight Gain (DWG), Feed Conversion and Ruminal Fermentation. It was found that the increase in CP in the diet did not affect DMI ( $P > 0.07$ ). The DWG increased ( $P < 0.05$ ) as the percentage of protein increased. Feed efficiency was not significantly affected ( $P > 0.05$ ) by the different levels of protein in the diet, with respect to feed conversion, no differences were observed in the treatments. Ruminal pH ( $\bar{X} = 6.69$ ) and acetic acid were similar between treatments ( $P > 0.05$ ), while ac. propionic tended to rise in the diets with 18% CP and ac. butyric and valeric decreased respectively ( $P < 0.05$ ). It is concluded that increasing the CP level above 14% in the diet does not affect dry matter intake and improves both feed conversion efficiency and weight gain.

**Keywords:** Pelibuey sheep, protein diets, productive behavior, ruminal fermentation, cyclical fluctuations.

# I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.

## 1.1 Introducción

La proyección mundial durante el primer cuarto de este siglo indica que subirá la demanda de productos de origen animal, como resultado del crecimiento constante de la población, urbanización, y globalización económica (Blake and Nicholson, 2002; Tewolde et al., 2002), con incrementos anuales en la demanda de carne de 2.8% (Magaña et al., 2006). Aunado a lo anterior, el elevado precio de los principales insumos (granos y derivados) utilizados en producción pecuaria, ha generado preocupación por su posible impacto en la inflación, un deterioro en el poder adquisitivo de todas las personas, y especialmente por las secuelas negativas en la economía, nutrición, salud y bienestar general dentro de los segmentos más vulnerables de la población mundial (WORLD ECONOMIC FORUM, 2013).

La ganadería en México es una de las actividades productivas primordiales económicas y sociales del sector primario, más de la mitad de la superficie del territorio nacional se dedica a esta actividad, además genera empleos directos e indirectos ligados a la misma, así como su participación en el PIB sectorial (FAO, 2009). La producción pecuaria se realiza principalmente en dos sistemas; el pastoreo extensivo que se practica aprovechando prácticamente en todo el territorio nacional utilizando cerca del 62.5% del total de los 2,000,000 de km<sup>2</sup> de la superficie del país (CONAGRO, 2006). El segundo sistema de producción es intensivo y se realiza en corrales de engorde donde cumplen su proceso productivo más de 3 millones de becerros, los cuales llegan a consumir 2.8 millones de toneladas de granos, 560 mil toneladas de melaza, 750 mil toneladas de forrajes henificados y 375 mil toneladas de pastas proteicas diversas, logrando una significativa generación de diversos empleos y dando un valor agregado a la agricultura en el territorio nacional (AMEG, 2012).

Sin embargo, para que el animal exprese su potencial genético para ganancia de peso y conversión alimenticia, es necesario atender sus necesidades de proteína, energía, minerales y vitaminas. La producción intensiva de ganado para carne basa su alimentación en granos y oleaginosas lo que limita la rentabilidad de las empresas ganaderas debido a su alto costo de estos ingredientes alimenticios (Mendoza et al., 2008).



Los ovinos (*Ovis aries*) han sido empleados para la obtención de productos lácteos, cárnicos además de lana por miles de años; Son transformadores eficientes, consumiendo forraje de baja calidad para convertirse en productos cárnicos alimenticios de alta calidad. Tradicionalmente los ovinos han sido relacionados con el pastoreo, incrementando la productividad de las tierras dedicadas a la agricultura incluso de regiones montañosas o semidesérticas. La ovinocultura se encuentra entre los tipos de ganadería más provechosas y recurrentes entre los productores que generalmente cuentan con recursos limitados, siendo la minoría de los sistemas que llegan a tener un enfoque empresarial (Moreno y Grajales; 2017).

## **1.2 Antecedentes**

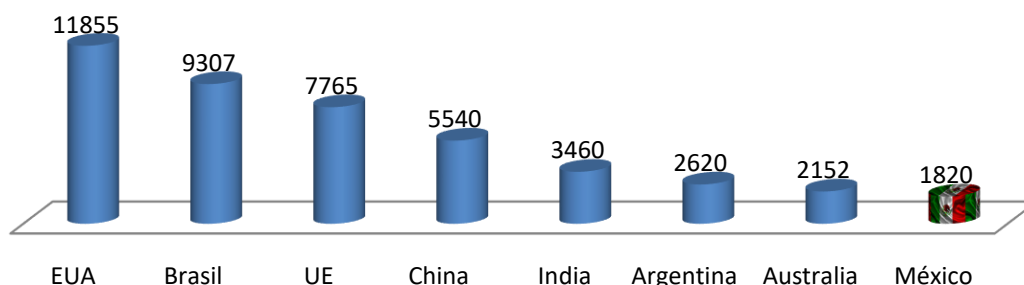
### **1.2.1 Panorama mundial de la producción de bovinos para carne**

Tanto la producción como la comercialización cárnica están influenciadas, entre otros factores, por el contexto macroeconómico, el crecimiento demográfico, las políticas de subsidio y ayuda de los países y las negociaciones de tratados internacionales, implicando cambios significativos en los principales países productores y exportadores, para los cuales, dichos cambios llegan a representar oportunidades para tener una aún mayor intervención en los mercados mundiales (Rodríguez y Morales, 2015).

Estados Unidos de América es uno de los países con mayor producción de carne en general con 11,855 mil toneladas de carne de bovino específicamente, seguido por Brasil con 9,307 mil toneladas y la Unión Europea con 7,765 mil toneladas. México se localiza en el octavo lugar (Figura 1).

Particularmente Estados Unidos se caracterizaba por ser un país tanto productor como exportador a nivel mundial; no obstante, ha resultado afectado por las sequías, igualmente, la urbanización de su territorio y el envejecimiento sin recambio generacional de los productores ganaderos, redujo la producción de ganado para carne en 2%; lo que dio lugar a que la India, Brasil y Australia aumentaran su participación en el mercado notablemente en el transcurso del mismo período, abarcando un promedio de hasta un 20.26, 16.51 y 16.69 respectivamente de las exportaciones mundiales por ciento al año (AMEG, 2015).

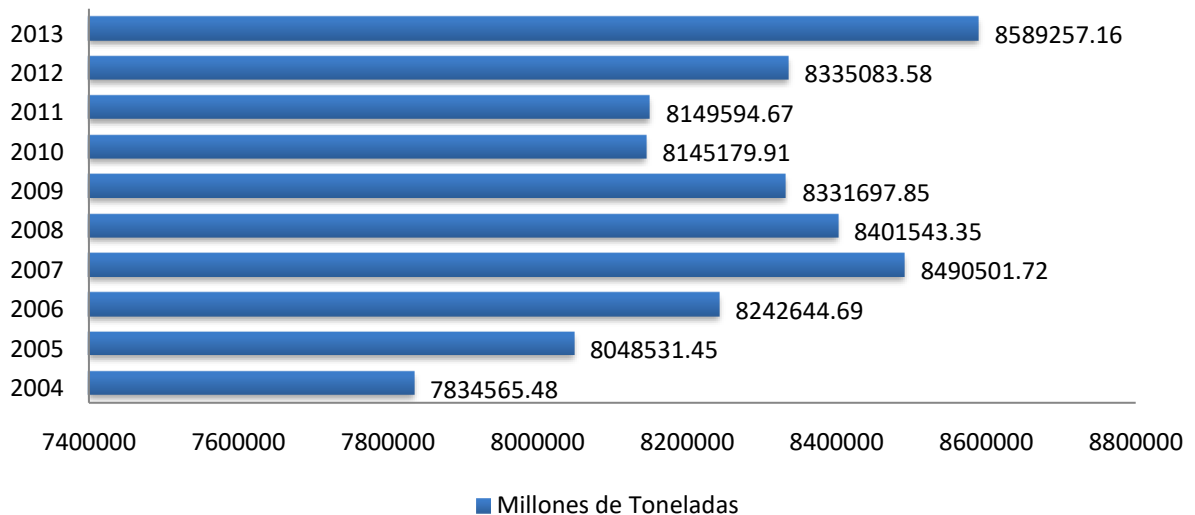
Sin embargo, el encarecimiento de los granos forrajeros y de sus subproductos debido a la producción de biocombustibles provocaron un aumento en la demanda en este mercado (AMEG, 2014). Las afectaciones del cambio climático, el incremento del costo del petróleo, la devaluación de su moneda aunado a la interconexión de los mercados financiero con los mercados de las materias primas agrícolas que ven incrementados sus precios; han tenido una clara incidencia en el crecimiento desacelerado de la producción en el pasado lustro equivalente al 1.8% anual: de 57.58 millones de toneladas (MDT) en 2010 paso a 58.63 MDT en 2014 (Rodríguez y Morales, 2015).



**Figura 1. Principales países productores de carne de bovino 2012 (miles de toneladas) Fuente: COMECARNE con datos USDA (2015).**

### 1.2.2 Panorama mundial de la producción de ovinos para carne

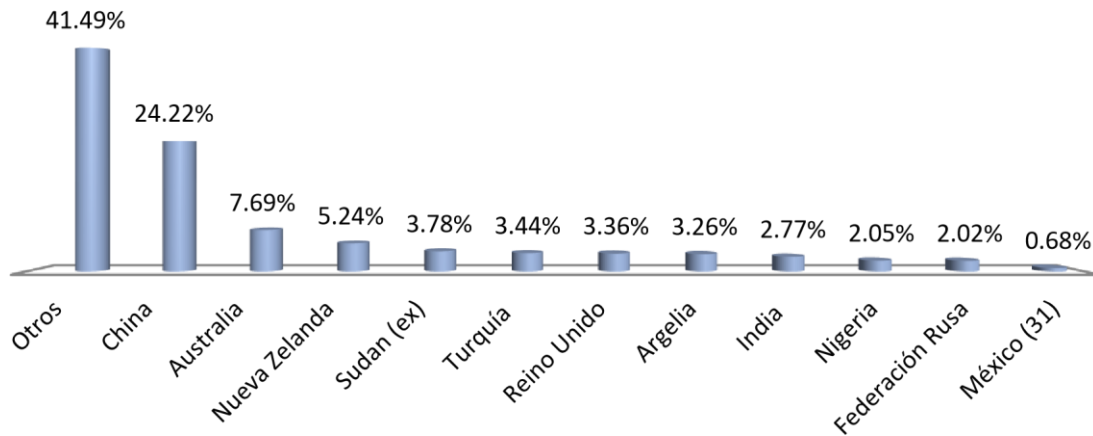
La cría de ovinos tiene en la actualidad como objetivo principal la obtención de carne para consumo humano. El crecimiento que ha tendido la producción de carne de ovino del 2004 al 2013 pasando de 7.8 a 8.5 millones de toneladas fue de 9.63% en este periodo, el crecimiento, sin embargo, no ha sido constante, como se observa en la Figura 2 (FAO, 2016).



**Figura 2. Histórico de la producción mundial de carne de ovino. Fuente: elaboración propia con datos FAO (2016).**

El mayor productor de carne de ovino, con más de dos millones de toneladas producidas, es China, seguido muy lejos por Australia y Nueva Zelanda; México apenas se ubica en el lugar 31 en el mundo (Figura 3).

La situación global indica que ovinocultura enfocada a producción de carne se mantendrá constante en los años venideros, sin embargo, al incrementarse la demanda de este producto de igual manera se espera un aumento en el precio, principalmente en países en vías de desarrollo (FAO, 2013). Valoraciones estiman los países miembros del grupo E7, compuesto por China, India, Brasil, Indonesia, México y Turquía poseerán para el año 2050, tendrán una capacidad económica para adquirir bienes y servicios 75% mayor que el que actualmente poseen el grupo G7, cuyos integrantes son: Estados Unidos de América, Alemania, Inglaterra, Francia, Italia, Canadá y Japón (Hawksworth, 2006).

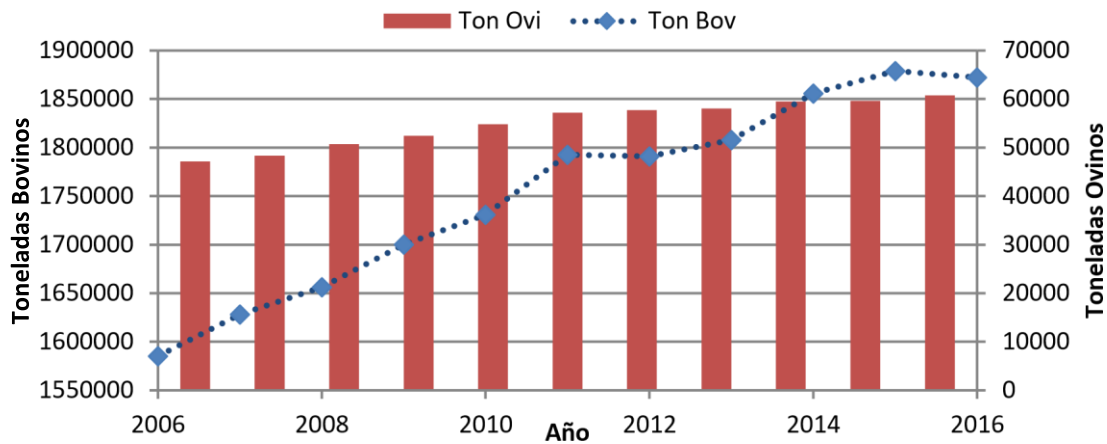


**Figura 3. Principales países productores de carne de ovino a nivel mundial 2013. Fuente: Elaboración propia con datos FAO (2016).**

### 1.2.3 Situación actual de la producción de bovinos y ovinos para carne en México

En lo que se refiere a condiciones para la producir proteína de origen animal, México es un país privilegiado. Factores como clima, suelo, tecnologías disponibles, recursos humanos y una inmensa extensión territorial, permiten que el país pueda producir proteína animal a precios competitivos y en cantidad suficiente. La ganadería en México, especialmente la enfocada a producir carne de ovinos y bovinos se desenvuelve bajo distintos niveles tecnológicos y de manejo (Financiera Rural, 2012).

Todos los animales sin importar el tipo de sistema utilizado para su crianza, al final del ciclo productivo impactarán la producción nacional (Figura 4).



**Figura 4. Producción de carne de bovino y ovino en México, últimos 10 años. Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2016). \* Datos preliminares.**

Los ovinos (*Ovis aries*) han sido empleados para la obtención de productos lácteos, cárnicos además de lana por miles de años; Son transformadores, los más eficientes, de forraje de baja calidad en productos alimenticios de alta calidad. Tradicionalmente los ovinos han sido relacionados con el pastoreo, aumentando la utilidad de las tierras agrícolas de regiones montañosas o semi-desérticas. La especie ovina se encuentra entre las modalidades de ganadería más beneficiosas y populares entre los productores de recursos ilimitado, siendo una pequeña proporción de los sistemas los que tienen un enfoque empresarial (Moreno y Grajales; 2017).

Dentro de los países subdesarrollados los sistemas de producción de ovinos manifiestan varias similitudes, teniendo en cuenta factores semejantes que determinan las condiciones desfavorables, que hacen uso de terrenos frágiles o áridos que son menos atractivos para otro tipo de actividades de producción pecuaria (Bobadilla-Soto et al., 2021).

En México la actividad de la ovinocultura se practica en distintos sistemas de producción, esta actividad pecuaria se ve influenciada por varios imponderables como pueden llegar a ser

las condiciones climáticas, la disponibilidad de todo tipo de recursos e incluso el nivel socioeconómico de los productores llega a afectar las circunstancias de esta práctica. Estos sistemas contemplan tanto los que son poseen alta tecnificación manteniendo en estabulación sobre pisos elevados a los animales, como la trashumancia y a los transterminantes que mantienen los animales en pastoreo extensivamente y utilizar ni tecnología más elemental (Vélez et al., 2016). Igualmente, Hernández-Marín *et al.* (2017) mencionan que la producción de ovinos a menudo suele realizarse bajo sistemas de pastoreo tradicionales escasamente tecnificados, de productividad baja y cuya producción se clasifica, caracteriza y distingue por regiones; la región norte, cuya producción se enfoca en la producción de ganado ovino para la obtención de lana así como en las razas para de mayor tasa de crecimiento para aprovechar su carne con sistemas tecnificados; la región centro, utiliza ganado cruzado para aumentar su eficiencia, la práctica de crianza de ovinos se realiza manera importante en zonas marginadas, agostaderos y en terrenos agrícolas utilizando entre otras cosas residuos de la producción agrícola. La región sur y sureste, son descritas con particularidades tropicales de la zona en donde destacan razas de pelo, en esta región en la actualidad se han incorporado al inventario ganadero ovinos de razas especializadas para producción de carne. En su mayoría la ovinocultura en México se lleva a cabo bajo sistemas extensivos, conocido como tradicional, en donde la alimentación del ganado depende del pastoreo principalmente. También suelen utilizarse sistemas mixtos de producción, dichos sistemas suelen disponer de forrajes producidos en tierras de los productores ovinos, igual se observan los diferentes niveles tecnológicos y capacidades productivas (Bobadilla-Soto et al., 2021).

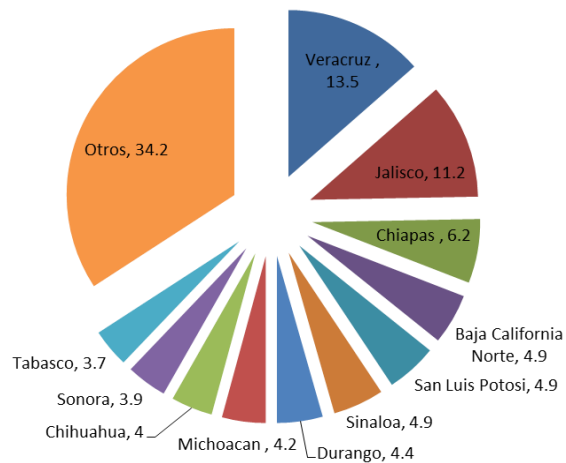
La producción de carne de ovino en México tuvo una tasa de crecimiento anual media de 2.2% desde 1970 hasta 2019. La producción en el año 2019 fue de 64 030 toneladas sin embargo este volumen de producción no satisfizo la demanda que existe de esta carne en

México por lo que se termina siendo importada principalmente del mercado estadounidense, Australia y Nueva Zelanda en menor proporción también son mercados donde se importa carne. El consumo nacional de México ha tenido crece a una tasa anual de 2,3% pasando de consumir 22 545 t en 1970 a 70 812 t en el 2019 (Bobadilla-Soto et al., 2021).

La producción de carne en canal de bovino tuvo una tasa de crecimiento media anual de 2.2% desde 1970 hasta 2019. En 2019 la producción fue de 64 030 toneladas sin embargo este volumen de producción no satisfizo la demanda que existe de esta carne en México por lo que se termina importando principalmente de Estados Unidos de América además de Australia y Nueva Zelanda en menor proporción. El consumo nacional en México ha tenido una tasa de crecimiento anual de 2,3 pasando de 22 545 t en 2070 a 70 812 t en el 2019 (Bobadilla-Soto et al., 2021).

De acuerdo a las estadísticas presentadas por la SIAP (2016), la producción de carne de bovino y ovino se ha incrementado en la última década un 28 y 17 %, respectivamente (Figura 4). En particular en la producción de bovinos para carne destacan los siguientes estados como los principales contribuyes a este rubro con más del 65% de la producción nacional, destacando Veracruz con 13.5%, Jalisco 11.2%, Chiapas 6.2%, Baja California Norte 4.9%, San Luis Potosí 4.9%, Sinaloa 4.9%, Durango 4.4% Michoacán 4.2%, Chihuahua 4%, Sonora 3.9% y Tabasco 3.7%(Figura 5).

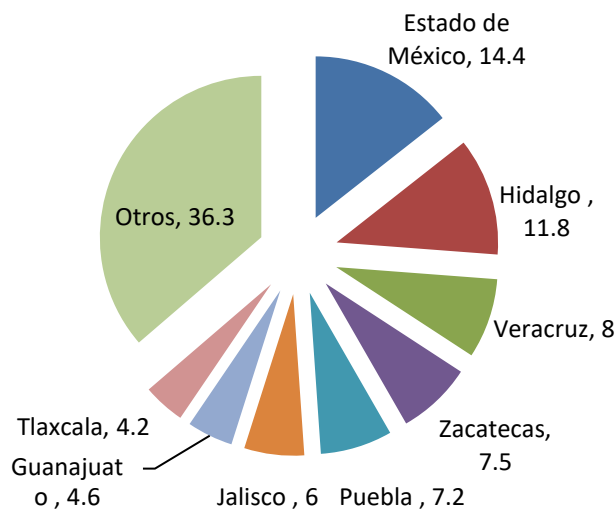
El inventario de nacional de ganado ovino se incrementó un 29%, pasando de 7, 207,406 en 2005 a 8, 575,908 en 2014 (SIAP, 2016). Dentro del subsector agropecuario, la producción de ovino (lana y carne) genera el 0.9% del valor total del subsector, obteniéndose en 2013 tres mil millones de pesos donde el 99% correspondió a la producción de carne en canal (Financiera Rural, 2015).



**Figura 5. Participación de la producción de carne de bovino, por entidad federativa 2016.**

**Fuente: SIAP (2016).**

Los principales productores son los estados de México, Hidalgo, Veracruz, Zacatecas, Puebla, Jalisco, Guanajuato y Tlaxcala, con 14.4, 11.8, 8.0, 7.5, 7.2, 6.0, 4.6 y 4.2%, respectivamente; con un aporte superior al 60% de la producción total a nivel nacional (Figura 6).



**Figura 6. Participación de la producción de carne de ovino, por entidad federativa 2016.**

**Fuente: SIAP (2016).**



#### **1.2.4 Sistemas de producción de ovinos y bovinos para carne**

La proteína animal más importante para la dieta humana sigue siendo la carne (Morais et al., 2011). La producción de ovinos y bovinos por lo general se desarrolla bajo sistemas de pastoreo, constituyendo una significativa ventaja económica, debido al ahorro que suponen los costos de producción (costo/beneficio), aunque la variabilidad en condiciones climatológicas condiciona la producción (FAO, 2010). En México existen varios sistemas de producción, destacando el extensivo, semi-intensivo e intensivo (Partida et al., 2013).

De acuerdo con Financiera Rural (2012), la producción de bovinos para carne se lleva a cabo en diferentes niveles tecnológicos, diversos sistemas de manejo y con diferentes fines de explotación, la producción de novillos para el abasto, la cría de becerros para la exportación y la producción de pie de cría comprenden primordialmente las principales actividades productivas. En lo que respecta a ovinos la producción para abasto y pie de cría son sus principales fortalezas.

Sistema de producción intensivo. En México están presentes varios tipos de sistemas productivos, que se van a diferenciar entre sí de acuerdo al tipo de tecnología que emplean, por el nivel de integración vertical y horizontal y por los mercados a los cuales dirigen su volumen de producción (Arroniz y Valladares, 2009). En un sistema tecnificado se utilizan tecnologías de punta, en los que la integración horizontal y vertical llega a ser casi total. La maximización de los beneficios y la reducción en el tiempo de retorno del capital a la unidad de producción ha llevado a una adopción cada vez mayor del confinamiento como estrategia integrada en los sistemas de producción para la finalización de los animales. En esta etapa los resultados están directamente ligados al plano nutricional, donde la elaboración adecuada de la dieta y el manejo diario de la alimentación llegan a participar hasta en 70% de los costos

totales de confinamiento (Real y Rodríguez, 2007; De Beni et al., 2013). El avance científico sobre las exigencias de los animales y el valor nutritivo de los alimentos disponibles, ha permitido el conocimiento técnico y la información necesaria para balancear dietas de manera precisa de acuerdo a la categoría y nivel de producción desempeñado.

#### **1.2.4.1 Sistemas de producción**

Un sistema de producción se entiende como el conjunto de elementos técnicos-humanos y como se relacionan entre sí, en estos se hacen presentes diferentes arreglos con respecto al uso de insumos, materiales, formas de manejo y relaciones de trabajo. Los sistemas de producción de ovinos suelen operar dentro de tres modalidades: intensivo, semi-intensivo o mixto y extensivo. (Bobadilla-Soto, 2021). En México debido al bajo valor de la lana, los sistemas de ovinos de ovino de pelo y lana se podrían considerar como un subsistema de la unidad de producción. Sin importar la clase de sistema, los componentes a considerar incluyen la especie animal, los recursos alimenticios y el sistema de manejo con su componente de mercadeo y comercialización de productos (Martínez-González *et al* 2017).

#### **1.2.4.2 Sistema extensivo para la producción de ovinos**

En dicho sistema el rebaño depende del pastoreo diurno continuo para su alimentación, de praderas naturales o con especies introducidas. Este sistema cuyo uso predomina en México debido a que la inversión monetaria destinada a alimentación, sanidad e infraestructura es mínima además de que la mano de obra es comúnmente aportada por las familias. El pastoreo se realiza sin vigilar la carga animal, con suplementación de sales y/o minerales; El manejo sanitario es limitado o incluso nulo; El rebaño se mantiene como una unidad individual, limitando la usanza de elementos tecnológicos; El tipo de empadre que se lleva a cabo es de forma continua e indiscriminada, con hembras que no son separadas por edades y donde se

mantiene la presencia del macho durante todo el año. Los sistemas extensivos incluyen desde rebaños pequeños de 10 a 30 cabezas hasta grandes de 1000 a 2000 y tienen el objetivo primordial la producción de animales para el abasto, siendo producto principal la carne. Las unidades de producción se distribuyen en zonas tropicales y áridas cercanas a las poblaciones (Martínez-González *et al* 2017).

#### **1.2.4.3 Sistemas semi-extensivos para la producción de ovinos**

En estos sistemas del pastoreo se obtiene la principal fuente de alimento diferenciándose del extensivo por la utilización de menos terreno para la crianza y el uso de tecnología e insumos en mayor escala. Este sistema armoniza la agricultura con la crianza de animales, los cuales suelen alimentarse de pastizales inducidos o cultivados, de los pastos que se encuentran en los costados de los caminos, esquilmos agrícolas, granos básicos, alimentos elaborados y/o alimento balanceado. Existe una mayor organización en la utilización de los insumos y recursos. En este sistema se pueden encontrar combinaciones de pastoreo extensivo de vientres y hembras de reposición con alimentación en el corral de los animales para abasto o pie de cría. Por lo general estos sistemas son utilizados por productores pertenecientes a un estrato social diferente a los del extensivo, poseen más recursos para introducir elementos tecnológicos y son más abiertos a utilizar prácticas de manejo (Martínez-González *et al* 2017).

#### **1.2.4.4 Sistemas intensivos para la producción de ovinos**

En estos sistemas, las unidades buscan maximizar la producción. Se utilizan materias e insumos industriales además de sistemas de sanidad, manejo de desechos y programas tanto

de nutrición como de reproducción. En el sistema intensivo los animales se encuentran confinados en instalaciones tecnificadas incluidos los sistemas de engorda de corderos en corral, también, sistemas de cría/engorda con la utilización de praderas mejoradas bajo pastoreo intensivo y finalización de los corderos en corral o para la producción de leche. El uso de razas de alto rendimiento con mayor índice de producción cárnica como las razas Dorper, Katahdin, Ile de France o Charollais son una herramienta presente en estos sistemas intensivos (Martínez-González et al 2017).

La producción de carne en canal de bovino tuvo una tasa de crecimiento media anual de 2.2% desde 1970 hasta 2019. En 2019 la producción fue de 64 030 toneladas sin embargo este volumen de producción no satisfizo la demanda que existe de esta carne en México por lo que se termina importando principalmente de Estados Unidos de América además de Australia y Nueva Zelandia en menor proporción. El consumo nacional en México ha tenido una tasa de crecimiento anual de 2,3 pasando de 22 545 t en 2070 a 70 812 t en el 2019 (Bobadilla-Soto et al., 2021).

### **1.2.5 Contexto mundial de los granos de cereales y su importancia en la producción animal**

La agricultura ha estado bajo una presión constante para cumplir con la creciente demanda de piensos, alimentos, fibra y bioenergía (Foley et al., 2011; Holmgren, 2012). La totalidad de la producción mundial de cereales (trigo y cereales secundarios) en 2016/2017 fue estimadamente de 2,069 millones de toneladas (IGC, 2016), de las cuales aproximadamente un 44% se destinan a la alimentación de especies pecuarias (FIRA, 2008). La producción de granos globalmente ha manifestado cambios importantes en años recientes inclinándose principalmente para cubrir la demanda no solo del consumo humano sino para satisfacer la demanda de la industria energética (biocombustibles: etanol y esteres).

La producción de etanol y ésteres (biodiesel) se obtiene de caña de azúcar y maíz, en el primer caso y oleaginosas como colza, soya o girasol para el biodiesel. Debido a esta movilización de la producción de cereales al sector bioenergético ha ocasionado un déficit en el sector pecuario, disminuyendo la producción de proteínas de origen animal y un incremento en los precios de adquisición (González, 2008). Lee-Rangel (2011), menciona que el efecto de sustitución en la producción de granos destinados a alimentación animal y que actualmente se utilizan para la obtención de biocombustibles debe contemplar también la cantidad de superficie apta que deja de sembrarse para uso en el sector pecuario.

### **1.2.5.1 Contexto nacional**

En 2008 México produjo 37, 481,648 toneladas de granos; el maíz, sorgo y trigo representaron cerca del 94% de la producción total para ese ciclo, con 65.1%, 17.6% y 11.2%, respectivamente (SAGARPA, 2011). En México, el maíz es el principal insumo utilizado en la elaboración de alimentos pecuarios, sin embargo, su producción se encuentra en recuperación, después de registrar el rendimiento más bajo de los últimos 10 años, durante el año 2011. En 2015 se alcanzó un rendimiento nacional de 24.95 millones de toneladas, similar al obtenido en el 2008 (FIRA, 2015).

En México el consumo nacional de granos mantiene un continuo crecimiento firme, en maíz según estimaciones de SAGARPA en 2014 mostraron un incremento en el consumo de 18.7% a tasa anual para ubicarse en 33.6 millones de toneladas (importaciones más producción nacional), de las cuales 63.9% corresponde a maíz blanco y el restante 36.1 a maíz amarillo (FIRA, 2015). El maíz blanco se destina principalmente para el consumo humano y el maíz amarillo para la industria pecuaria, donde el maíz amarillo representa el 74% del total consumido (FIRA, 2015).

México no posee autosuficiencia en la producción de granos, por lo cual requiere importar estos, lo cual se torna crítico cuando se reduce la disponibilidad o aumenta el precio, situación que se agrava al considerar los patrones estacionales presentes en la producción. La demanda y el consumo de granos como maíz por la industria y la ganadería permanecen constantes a lo largo del año; sin embargo, la producción interna para cubrir dicha demanda no tiene un comportamiento estable (FIRA, 2008).

### 1.2.5.1 Estructura y composición de los granos de cereales

Los granos de cereales poseen una estructura que está determinada por las prioridades reproductivas de la planta y el objetivo de producción para el cual fue seleccionada; la composición química varía entre las especies de planta y entre variedades dentro de las especies. Están presentes tres tipos básicos de carbohidratos en los granos de cereales: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Ali et al., 2014). Los monosacáridos son moléculas sencillas, constituidas por una unidad aislada de polihidroxi-aldehído o cetona, formadas por 3, 4, 5, 6 y 7 átomos de carbono y la glucosa es más abundante, azúcar de seis átomos de carbono, es la molécula energética de más importancia para los animales cuya función básica y de las más importantes es la síntesis del almidón y la celulosa (Van Soest, 1994).

El almidón es el polisacárido de almacenaje que contribuye al rendimiento de las plantas (60-80% de los granos de cereales) y es materia prima con aplicaciones industriales (Xu et al., 2017). Es el componente principal en concentrados para alimentación animal, proporcionando una fuente de energía sustancial (Liu et al., 2015). Su degradación en el fluido ruminal está influenciada por el contenido de almidón, composición del almidón (amilosa: amilopectina), y propiedades físicas del almidón (Wolters and Cone, 1992; Stevnebo et al., 2006; Ali et al., 2014; Moharrery et al., 2014). El genotipo de maíz también ejerce un efecto directo en la degradación ruminal (Frei, 2000; Troyer, 2001; Duvick, 2005; Marton et al., 2007; Cone et al., 2008).

El almidón está conformado principalmente por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina unidas por puentes de hidrógeno (Ali et al., 2014; Xu et al., 2017). La amilosa es un polímero lineal de unidades de D-glucosa unidas por enlaces tipo  $\alpha$  1-4 (Jackson et al., 2003; Xu et al., 2017). En el grano puede variar de 14 a 34 % la proporción de amilosa, dependiendo de la especie de cereal y factores de su genética. La amilopectina es un polímero ramificado de una cadena lineal de residuos de glucosa  $\alpha$  (1-4), con ramificaciones  $\alpha$  (1-6) cada 20 o 25 unidades (Ali et al., 2014). La amilosa en el maíz representa un 20-30% y la amilopectina 70-80 % del almidón contenido en el grano del cereal (Ali et al., 2014).

El almidón consiste de gránulos altamente organizados unidos a ésteres de fosfatos, proporcionando funcionalidades específicas a los almidones y haciéndolos más adecuados para diferentes aplicaciones industriales (Xu et al., 2017). Los gránulos del almidón son pseudocristales con regiones organizadas (cristalina) y no organizadas (amorfa; Sadeghi y Shawrang, 2006). La región organizada o cristalina, también conocida como micelar se encuentra compuesta principalmente de amilosa y esta posee resistencia a la hidrólisis y al ataque enzimático (Cui y Oates, 1999; Vesterinen et al., 2002; Svihus et al., 2005).

La degradabilidad del almidón depende de la relación entre estos polímeros (Ali et al., 2014) y se puede ver afectada por presencia de una matriz proteica que dificulta la acción de enzimas digestivas (Kotarski et al., 1992). El aumento del área accesible y la rotura de la matriz proteínica es la principal causa de la degradabilidad ruminal del almidón del maíz y sorgo, cuando son procesados intensamente (Huntington 1997). Las proteínas y los carbohidratos estructurales asociados a los gránulos de almidón podrían alterar la degradación ruminal del mismo.

Los cereales como maíz, sorgo y cebada son las principales fuentes de energía en el alimento y son fundamentales para la industria pecuaria. La estructura y composición del almidón de los cereales aunado a como se dan sus interacciones con las proteínas son determinantes en la digestibilidad y valor nutricional de estos alimentos para los animales domésticos (Roney y Pflugfelder, 1986).

### **1.2.6 Fermentación ruminal del almidón**

La degradación ruminal del almidón por bacterias amilolíticas acontece mediante la acción de la  $\alpha$ -amilasa extracelular, la cual rompe la molécula del almidón (Yokoyama y Johnson, 1988). Después de la degradación del almidón a maltosa y glucosa, las bacterias sacarolíticas lo fermentan hasta piruvato que es la vía intermedia por la cual todos los carbohidratos deben pasar antes de ser convertidos en ácidos grasos volátiles (AGV). El total de AGV, así como las proporciones molares de acetato, propionato y butirato producidos en el rumen dependen del tipo de carbohidratos fermentados, tiempo y extensión de la degradación, especie bacteriana y ambiente ruminal (Van Soest, 1994), y estos ácidos contribuyen con más del 95 % de los AGV producidos (Kebreab et al., 2009). En rumiantes los AGV puede contribuir hasta 70 % de los requerimientos energéticos (Bergman, 1990).

Las dietas cuando son ricas en cereales tienen la tendencia de producir mayor proporción molar de ácido propiónico en relación a dietas ricas en forrajes (Orskov, 1986). Al respecto, Kawas et al. (2007) mencionan que las fermentaciones altas en propionato son energéticamente más eficientes. El propionato producido por la fermentación de carbohidratos dentro del rumen es un precursor para la síntesis de glucosa en los rumiantes, la producción de este parece adecuada para ofrecer hasta el 85 % de la glucosa que requieren vacas en lactancia.

### **1.2.7 Precursores de glucosa**

Los granos de cereal se componen en su mayoría de almidón, hasta un 60-80% (Ali et al., 2014). El rumiante obtiene los nutrientes a través de la fermentación ruminal del almidón, actividad metabólica de los organismos que se encuentran en el rumen, nutrientes tales como ácidos grasos volátiles (AGV: acético, propiónico y butírico) los cuales son necesarios para el mantenimiento de las funciones biológicas (Aguilar-González et al., 2016). Los AGV se absorben a través del epitelio ruminal rápidamente, de ahí sirven como fuente de energía para el animal. El AGV más importante para la obtención de energía es el propionato, y este es absorbido en el rumen y posteriormente es transportado hacia el hígado, donde pasa a convertirse en glucosa (gluconeogénesis) funcionando como fuente energética o precursor de la síntesis de lactosa, proteína y grasa corporal (Escobar et al., 2006). El propionato es el precursor primario de la síntesis de glucosa en rumiantes, contribuye hasta con 60 al 74% del carbono para la gluconeogénesis (Aschenbach et al., 2010). Además, representa hasta el 80% de la energía aprovechable por el animal (Zhang et al., 2015; Aguilar-González et al., 2016).

Sin embargo, el alto precio de los granos como maíz y sorgo, ha llevado a investigadores y especialistas del área animal a la búsqueda de alternativas para incrementar la ingesta energética mediante el uso de ingredientes no convencionales. Varios productos y tecnologías se han desarrollado a lo largo de los años para optimizar la producción ganadera y lograr la máxima rentabilidad (Vendramini et al., 2016). En ese contexto la inclusión de precursores de glucosa como glicerol, propilenglicol (Ferraro et al., 2009) o propionato de calcio, representa una opción atractiva en la alimentación animal (Yan et al., 2011). Sin embargo, como el propilenglicol puede ser metabolizado en compuestos tóxicos (Trabue et al., 2007),



solo el propionato de calcio o sodio puede ser utilizado como ingrediente en la dieta (Lee-Rangel et al., 2012).

### **1.2.8 Propionato en nutrición de rumiantes**

El propionato en rumiantes puede llegar a incrementar niveles del ácido propiónico en el rumen, mejorando el rendimiento de los animales al incrementar la energía disponible, también puede actuar como mediador metabólico (Liu et al., 2009; 2010). Sano y Fujita (2006), mencionan que cuando se eleva la concentración de propionato dentro del rumen influye sobre la glucosa en sangre, metabolito importante que mejora la eficiencia energética y productiva (Waterman et al., 2006; Liu et al., 2010). El propionato es un estimulador de la secreción de la insulina, una hormona que actúa en el control de la saciedad (Lee-Rangel, 2011). Los efectos en la disminución del consumo de alimento se han observado al realizar infusiones de propionato (en rumen o vena) aun sin un incremento en las concentraciones de insulina (Allen et al., 2006). La insulina podría tener efectos indirectos en el consumo de alimento debido al incremento de precursores glucogénicos en el hígado, lo cual aumenta la llegada de metabolitos (glucosa) al torrente sanguíneo (Allen et al., 2005).

La suplementación con aditivos gluconeogénicos disminuyen el pH ruminal mejorando la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, fibra detergente neutro y ácida (Shepherd y Combs, 1998). En contraste, estudios recientes no revelaron respuesta en variables productivas y de rendimiento en canal de ovinos y bovinos en finalización alimentados con diferentes dosis de PCa (Lee-Rangel et al., 2012; Mendoza-Martínez et al., 2015; Zhang et al., 2015). Liu et al. (2009), refieren que resultados inconsistentes pueden ser ocasionados por diferencias en características del animal (raza, estado fisiológico, condiciones de alimentación, etc.), condicionado a respuestas diferentes a la suplementación con precursores.

### **1.3 Hipótesis**

Al incrementar el nivel de proteína en la dieta para ovinos en crecimiento el consumo de materia seca no se verá afectado y la eficiencia de la conversión alimenticia y la ganancia de peso se verán mejoradas.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de diferentes niveles de proteína en la dieta en la población protozoaria, así como en los parámetros productivos y económicos en corderos Pelibuey del trópico mexicano.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de tres niveles de proteína el consumo de materia seca.
- Determinar el efecto de los niveles de proteína sobre la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia en ovinos de pelo.
- Evaluar el efecto del incremento en los niveles de proteína en la fermentación ruminal.

## 1.5 Procedimiento experimental.

### 1.5.1 Localización y características del área de estudio

El trabajo de campo se realizó a partir del mes de agosto del año 2018 en las instalaciones de la posta ovina del Instituto Tecnológico Agropecuario de Conkal, ubicada en el municipio de Conkal, Yucatán, México. El área de estudio se ubica entre los paralelos 20°56' y 21°36' de latitud norte; los meridianos 87°32' y 88°16' de longitud oeste; altitud entre 7 y 10 m. Tiene clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad, con un rango de precipitación de 700 a 1100 mm y un rango de temperatura de 24-26 °C (INEGI, 2009).

### 1.5.2 Animales y manejo

Los animales fueron manejados de acuerdo con las normas de manejo y bienestar animal del Instituto Tecnológico Agropecuario.

Se utilizaron 18 corderos de la raza Pelibuey con peso promedio de  $13.59 \pm 3.50$  kg. Se alojarán de manera aleatoria en jaulas metabólicas individuales de 1.2 m<sup>2</sup> provistas de bebederos y comederos. Los animales se dividirán en tres grupos de seis animales por grupo (grupo uno, grupo dos y grupo tres) y serán alimentados con una dieta con 14, 16 y 18% de proteína cruda (PC), respectivamente. La dieta tendrá una relación forraje:concentrado de 40:60. La composición de la dieta y su contenido nutrimental se muestra en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1. Composición de las dietas utilizadas para la alimentación de corderos en crecimiento.**

<b>Ingrediente (%)</b>	<b>Dieta 1</b>	<b>Dieta2</b>	<b>Dieta 3</b>
Heno	40.00	40.00	40.00
Sorgo molido	23.34	18.08	12.82
Harina de soya	14.56	19.82	25.08
Melaza	10.00	10.00	10.00
Cascarilla de soya	10.00	10.00	10.00
Mezcla mineral	2.00	2.00	2.00
Vitamina ADE	0.100	0.10	0.10
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Tabla 2. Composición nutricional de la dieta para ovinos en crecimiento**

Componente	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Requerimientos
EM (kcal)	2529	2535	2542	2410
ENm (kcal)	1690	1698	1705	356
ENg (kcal)	1503	1508	1513	712
PC (%)	14.0	16.0	18.0	14
FC (%)	20.5	20.7	21.0	25
Ca (%)	0.8	0.8	0.8	0.6
P (%)	0.4	0.5	0.5	0.4
UIP (%)	5.1	5.7	6.3	0
Vitamina A (RE)	3390	3390	3390	3390
Vitamina D	0.0	0.0	0.0	0
Vitamina E (UI)	339	339	339	339

El alimento se proporcionó diariamente a libre acceso en los comederos individuales en la mañana, procurando un 15% de excedente. También se proporcionará con libre acceso a agua limpia y fresca. Antes del inicio del experimento los animales fueron vitaminados con 0.25 ml de Vigantol® ADE conteniendo 500,000 UI de vitamina A, 75, 000 UI de vitamina D<sub>3</sub>, 50 mg de vitamina E<sub>1</sub> alfa-tocoferolacetato en un vehículo aguamiscible c. b. p de 1 ml. También se desparasitaron contra parásitos internos con ivermectina al 1% (Iverfull ®) a razón de 1 ml/50 kg de peso vivo (PV). También se les dará un periodo de adaptación de 15 días a las dietas.

### **1.5.3 variables a evaluar**

#### **1.5.3.1 Consumo voluntario**

El consumo se determinó mediante lo ofrecido y rechazado en un periodo de 24 horas. Los animales fueron alimentados ad libitum permitiendo un rechazo de por lo menos el 15% de

la materia seca ofrecida el día anterior y el rechazo de alimento se pesó a las 08:00 horas del día siguiente.

### **1.5.3.2 Ganancia diaria de peso y Conversión alimenticia**

El peso se registró con un intervalo de 8 días (Previo a 14 horas de ayuno). La ganancia diaria de peso se estimó basándose en la diferencia entre el peso inicial y final en cada periodo. La conversión alimenticia fue calculada dividiendo la ingesta de materia seca entre la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimentaria se determinó dividiendo la ingesta diaria de materia seca con la ganancia diaria de peso.

### **1.5.3.3 Determinación de pH ruminal y proporciones molares de AGV's**

Se tomaron muestras de líquido ruminal mediante un tubo esofágico de acuerdo a RamosMorales et al (2014). El líquido ruminal se obtuvo seis días antes de la medición. Se filtraron mediante dos capas de gasas para retener partículas grandes. El pH ruminal fue medido con una muestra del líquido con un potenciómetro HANNA® Instruments, Woonsocket, USA) calibrado con buffers de pH 4, 7 y 10.

Para determinar las proporciones molares de los AGV's en líquido ruminal se tomaron muestras de 4 ml y se le añadió 1 ml de solución desproteinizante que consistía de ácidos metaphosphorico y 3-methylvalerico.

Para el análisis de AGV's se aplicó la técnica propuesta por Ryan (1980) usando un cromatógrafo de gas (Hewlett-Packard, 5890 series III), equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna HP-FFAP midiendo 30 mx 0,53 mm, la temperatura del inyector y del detector fue en ambos casos de 200 ° C.

#### **1.5.3.4 Análisis Químico**

La materia seca se determinó utilizando un horno de aire forzado a 55 ° C durante 48 h (Peso constante). ((#7.007) AOAC (1980). Nitrógeno (CP= N × 6.25) se llevó a cabo con un instrumento LECCO CN-2000 serie 3740 (LECCO, Corporation) (# 2.057) AOAC (1980).

La materia orgánica se evaluó mediante la incineración de la muestra en un horno de mufla a 550 ° C durante 6 horas (AOAC Method #923.03) y el contenido de NDF y ADF se determinó utilizando los métodos descritos por Van Soest *et al.* (1991).

#### **1.5.4 Análisis estadísticos**

Los datos resultantes se analizaron mediante el procedimiento GLM del paquete SAS (2004). El modelo estadístico para los datos de ganancia de GDP consideró los efectos de nivel de proteína (Gi) [14, 16 y 18%], conversión alimenticia. Se utilizará la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997) para la comparación de medias de tratamientos. La GDP se calculará por medio de regresión lineal.

#### **1.5.5 Técnica de gas in vitro**

Para la determinación de producción de gas se utilizó el procedimiento propuesto por Menke y Steingass (1988) modificado por Rueda (1999). En frascos de vidrio color ámbar de 120 mL de capacidad, se colocó 5 g de forraje (MS o FDN), el cual fue molido en criba (1 mm). Posteriormente, se adicionaron 90 mL de inóculo ruminal estandarizado. Conforme se agrega el inóculo ruminal se mantendrá en flujo continuo de CO<sub>2</sub> con la finalidad de mantener la anaerobiosis. El flujo de CO<sub>2</sub> se retirará y simultáneamente se colocará un tapón de goma, un arillo, y se sellará con una pistola engargoladota a presión. El aire del interior de cada frasco se extraerá hasta igualar la presión interior a cero e inmediatamente después se colocaron en una estufa a 39°C.

La presión de gas generada por la fermentación del sustrato se midió con un manómetro con escala de 0-1 kg cm<sup>-2</sup>, con aguja hipodérmica. En cada medición se extraerá el gas hasta bajar

la presión interior nuevamente a cero. Las lecturas se realizaron a 1, 2, 4, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 72, 96 y 120 h de incubación. Para la obtención del inóculo ruminal estandarizado se extraerá líquido ruminal de dos animales fistulados, alimentados a base de heno de avena (70 %) y concentrado comercial (30 %). El líquido ruminal se filtró a través de cuatro capas de gasa. El líquido ruminal estuvo compuesto de una fracción fluida y otra fracción fibrosa de la digesta, las cuales se depositaron en un termo, para tener una muestra compuesta. La muestra compuesta se llevó al laboratorio donde se licuó y filtró a través de ocho capas de gasa, manteniendo siempre constante un flujo de CO<sub>2</sub>. Finalmente, una parte de este filtrado de líquido ruminal se mezcló con nueve partes de solución mineral reducida (Menke y Steingass, 1988).

Las medidas de presión (kg cm<sup>-2</sup>) se transformaron a volumen de gas de acuerdo a lo siguiente: a frascos del mismo tamaño (120 mL) con 90 mL de inóculo ruminal estandarizado cerrados herméticamente, se les inyectaron volúmenes de gas conocidos y se medirá la presión generada por dichos volúmenes. Los valores de volumen y presión se ajustaron a un modelo de regresión lineal. Obteniéndose la ecuación que sirve para transformar la presión a volumen.

Las constantes estimadas fueron volumen máximo de gas producido (V<sub>max</sub>), tasa de producción de gas (K) y tiempo Lag (L). Los datos de volumen de gas (v) para cada tiempo (t) de mediciones se introdujeron en el modelo  $Y=v/(1+\exp(2-4*k*(t-L)))$  (Menke y Steingass, 1988). Volumen total de producción de gas (Y), volumen (v), tasa de producción de gas (k), tiempo (t) y tiempo Lag (L). Se utilizó el paquete estadístico SAS para obtener los parámetros de producción de gas (volumen máximo (V<sub>max</sub>), tasa de producción de gas (k) y tiempo lag (L)).

### **Inoculo estandarizado utilizado en la técnica de gas *in vitro***

Se prepararon por separado las soluciones descritas a continuación:

1. Solución carbonato de sodio.

✦ 8 g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

✦ Aforar a 1000 mL de agua destilada.

## 2. Solución mineral I.

✦ 6.0 g de  $K_2HPO_4$ .

✦ Aforar a 1000 mL de agua destilada.

## 3. Solución mineral II.

✦ 6.0 g de  $KH_2PO_4$ .

✦ 6.0 g de  $(NH_4)_2SO_4$ .

✦ 12.0 g NaCl.

✦ 2.45 g  $MgSO_4$ .

✦ 1.0 g  $CaCl_2 \cdot H_2O$ .

✦ Aforar a 1000 mL de agua destilada.

## 4. Solución de resazurina.

✦ 100 mg de resazurina aforada a 100 mL de agua destilada.

## 5. Solución reductora.

✦ 50 mL de agua destilada.

✦ 2 mL de NaOH 1 N.

✦ 0.5 g de  $Na_2S$ .

✦ 0.5 g de Cisteina.

✦ 1 gota de rezarsurina.

La solución reductora se preparó al momento de utilizarse, el resto de las soluciones se prepararon antes y se almacenaron en refrigeración a 4 °C. La solución mineral reducida se obtuvo mezclando las soluciones anteriores en un recipiente en las cantidades y el orden indicado, manteniendo el recipiente en un baño maría a 39 °C.

Por litro de solución mineral requerida se mezcló:

✦ 50 mL de  $Na_2CO_3$ .



- ✦ 75 mL de solución mineral I.
- ✦ 75 mL de solución mineral II.
- ✦ 750 mL de agua destilada.
- ✦ 1 gota de resazurina.
- ✦ 50 mL de solución reductora

Mientras que se adiciona la solución reductora, se agregó un flujo continuo de CO<sub>2</sub> con lo que provoca la decoloración de la mezcla, lo cual indica su reducción. En lo sucesivo el flujo permaneció constante y se agrega el líquido ruminal en una proporción de 1:9.

## 1.6 Literatura citada

Aguilar-González M, Buitrón G, Shimada-Miyasaka A, Mora-Izaguirre Ofelia. 2016. State of the art of bioelectrochemical systems: feasibility for enhancing rumen propionate production. *Agrociencia*. 50(2): 149-166.

Ali M, Cone JW, Hendriks WH, Struik PC. 2014. Starch degradation in rumen fluid as influenced by genotype, climatic conditions and maturity stage of maize, grown under controlled conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 193: 58-70.

AMEG, 2012. Carne de Bovino. Indicadores Económicos. [www.ameg.com](http://www.ameg.com). Consultado el 16 de julio del 2014.

AMEG. 2014. Estadísticas sobre el comercio mundial. Disponible en <http://www.ameg.org.mx/estadisticas/internacional/>. Consultado 1 de julio del 2015.

AMEG, 2015. Carne de Bovino. Indicadores Económicos del Sector. [www.ameg.com](http://www.ameg.com). Consultado el 1 de junio del 2015.

Arroniz, S. O. y Valladares, H. L. A. 2009. Estudio de factibilidad técnico financiera para el establecimiento de un hato bovino de doble propósito en Nuevo Morelos, Jesús Carranza, Veracruz. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Aschenbach JR, Kristensen NB, Donkin SS, Hammon HM and Penner GB. 2010. Gluconeogenesis in dairy cows: The secret of making sweet milk from sour dough. *IUBMB Life*. 62:869–877.

Blake RW and Nicholson C. 2002. Livestock, land usage and environmental outcomes in the developing world. In: Eds: Owen, E., T. Smith, M. A. Steele, S. Anderson, A.J. Duncan, M. Herrero, J. D. Leaver, C. K. Reynolds, J. I. Richards, and J. C. Kú-Vera. *Responding to the livestock revolution: the role for globalization and implication for poverty alleviation*. BSAS Publication 33. Nottingham University Press.

Bergman EN. 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*. 70(2): 567-590.

Bobadilla-Soto EE, Flores-Padilla JP y Perea-Peña M. 2017. Comercio exterior del sector ovino mexicano antes y después del Tratado de Libre Comercio con América del Norte. *Economía y Sociedad*; XXI (37):35-49. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2022]. ISSN: 1870-414X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=51054506003>

Bobadilla-Soto EE, Ochoa-Ambriz F, Perea-Peña M. 2021. Dinámica de la producción y consumo de carne ovina en México 1970 a 2019. *Agron. Mesoam*. 32(3):963-982, septiembre-diciembre, 2021ISSN 2215-3608 doi:10.15517/am.v32i3.44473

Canizares GL, Goncalves H, Costa C, Rodrigues L, Menezes J, Gomes H, Marques R, Branco

R. 2011. Use of high moisture corn silage replacing dry corn on intake, apparent digestibility, production and composition of milk of dairy goats. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40(4): 860-865.

CONAGRO. 2006. La ganadería en México. Documento informativo. <http://www.conagro.com/novedades/ganaderia.html>. Consultado el 6 de agosto del 2016.

Congio GFS, Bannik A, Mayorga OL. 2021. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean región: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production* 312 (2021) 127693.

Cone JW, Van-Gelder AH, Van-Schooten HA, Groten JAM. 2008. Effects of forage maize type and maturity stage on in vitro rumen fermentation characteristics. *NJAS- Wageningen Journal of Life Sciences*. 55(2), 139–154.

Cui R, Oates C, 1999. The effect of amylose–lipid complex formation on enzyme susceptibility of sago starch. *Food Chemistry*. 65(4): 417-425.

De Beni AM, Ludovico MC, Nave SLM, Sfaciotti BR, da Silva FMC, Vieira JLC, Perdigão A, Azevedo RF, Factori MA. 2013. Níveis elevados de concentrado na dieta de bovinos em Confinamento. *Veterinária e Zootecnia*. 20(4): 539-551.

Duvick DN. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*. 86: 83-145.

Escobar COE, Hernández SJR, Jaimes JJ. 2006. Evaluación de dietas altas en concentrado en novillos holstein. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 5:209-215.

FAO. 2009. La FAO en México: Más de 60 años de cooperación 1945-2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). [http://www.fao.org.mx/documentos/Libro\\_FAO.pdf](http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf). Consultado el 6 de agosto del 2016.

FAO. 2010. [http://www.3tres3.com/buscando/fao-evolucion-mundial-delconsumo-decarne\\_30869/](http://www.3tres3.com/buscando/fao-evolucion-mundial-delconsumo-decarne_30869/). Consultado 25 de octubre de 2016.

FAO. 2013. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>. Consultado 25 de octubre de 2016.

Ferraro SM, Mendoza GD, Miranda LA and Gutiérrez CG. 2009. In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology*. 154(1): 112-118.

Ferraretto LF, Crump PM, Shaver RD. 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 96(1):533-550.

Financiera Rural. 2012. Monografía de Carne Bovina. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. México, DF. Febrero, 2012.

Financiera Rural. 2015. Panorama de la carne y lana de ovino. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. México, DF. Febrero 2015.

FIRA. 2008. Situación Actual y Perspectivas de los Granos en México. Boletín informativo 32 Dirección de Consultoría en Agronegocios. 91 p.

Foley J, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller ND, O'Connell C, Ray DK, West PC, Balzers C, Bennett EM, Carpenters SR, Hill J, Monfreda, C, Polasky S, Rockström J, Sheehan, J, Siebert S, Tilman D, Zaks DPM. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. 478(7369): 337-342.

Frei OM. 2000. Changes in yield physiology of corn as a result of breeding in northern Europe. *Maydica*. 45(3): 173-183.

González MA y Castañeda ZY. 2008. Biocombustibles, biotecnología y alimentos: Impactos sociales para México. Argumentos, UAM-X. <http://scielo.unam.mx/pdf/argu/v21n57/v21n57a4.pdf>. Consultado 23/07/2014.

Hawksworth J. 2006. The world in 2050. Price water house Coopers, March 2006.

Holmgren L. 2012. The global need for food, fibre and fuel. Land use perspectives on constraints and opportunities in meeting future demand. *Kungl. Skogs-Och Lantbruksakademiens*. 4: 96.

Huntington BG. 1997. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *Journal of Animal Science*. 75(3): 852-867.

Hynes DN, Stergiadis S, Gordon A, Yan T. 2016. Effects of concentrate crude protein content on nutrient digestibility, energy utilization, and methane emissions in lactating dairy cows fed. *Journal of Dairy Science* Vol. 99 No. 11, 2016.

IGC. 2016. Informe Mercado de Cereales. <http://www.igc.int/downloads/gmrsummary/gmrsumms.pdf>. Consultado el 25 de octubre del 2016.

Jackson DS. 2003. Starch: structure, properties, and determination. In: *Encyclopedia of Food Sciences Nutrition*, second ed. Academic Press, Oxford, pp.5561-5567.

Kawas JR, Garcia-Castilo R, Fimbres-Durazo H, Garza-Cazares F, Hernandez-Vidal JFG, Olvares-Saenz E, and Lu CD. 2007. Effects of sodium bicarbonate and yeast on nutrient intake, digestibility, and ruminal fermentation of Light-weight lambs fed finishing diets. *Small Ruminant Research*. 67: 149-156.

Kebreab E, Dijkstra J, Bannink A and France J. 2009. Recent advances in modeling nutrient utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*. 87: 111-122.

Kotarski SF, Waniska RD, Thurn KK. 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *The Journal of Nutrition*. 122(1): 178-190.

- Lee-Rangel HA. 2011. Utilización de propionato de calcio en Borregos. [Tesis doctoral] Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, edo. De México 2011.
- Lee-Rangel HA, Mendoza GD, Gonzalez SS. 2012. Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal Feed Science and Technology*; 177(3-4): 237241.
- Liu Q, Wang C, Guo G, Yang WZ, Dong KH, Huang YX, Yang XM, He DC. 2009. Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Journal Agricultural Science*. 147(2): 201-209.
- Liu Q, Wang C, Yang WZ, Guo G, Yang XM, He DC, Dong KH, Huang YX. 2010. Effects of calcium propionate supplementation on lactation performance, energy balance and blood metabolites in early lactation dairy cows. *Animal Physiology and animal Nutrition*. 94: 605614.
- Liu K, Liu Y, Liu SM, Xu M, Yu ZP, Wang X, Cao YC, Yao JH. 2015. Relationships between leucine and the pancreatic exocrine function for improving starch digestibility in ruminants. *Journal of Dairy Science*. 98(4): 2576-2582.
- Magaña MJG, Ríos AG, Martínez GJC. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Revista Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14 (3): 105-114.
- Marton CL, Kálmán L, Árendás T, Bónis P, Szieberth D. 2007. Comparison of some methods for estimating vegetation periods in maize. *Acta Agronomica Hungarica*. 55(1): 1-5.
- McAllister TA, Bae HD, Jones GA and Cheng KJ. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of Animal Science*. 82: 3004-3018.
- Mendoza MGD, Plata PFX, Espinoza CR, Lara B.A. 2008. Manejo nutricional para mejorar la utilización de la energía en bovinos. *Universidad y Ciencia*. 24(1): 75-87.
- Mendoza MGD y Ricalde V. 1993. Alimentación de Ganado Bovino con Dietas Altas en Grano. Primera Edición. Libro de Texto. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. 97 p.
- Mendoza-Martínez GD, Pinos-Rodríguez JM, Lee-Rangel HA, Hernández-García PA, RojoRubio R and Relling A. 2015. Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*. 56(7): 1194-1198.
- Moharrery A, Larsen M, Weisbjerg MR. 2014. Starch digestion in the rumen, small intestine, and hind gut of dairy cows-A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*. 192:114.
- Morais LJD, do Nascimento RAH, Antas US, do Vale MM, de Araújo ALP. 2011. Alguns aspectos qualitativos da carne bovina: Uma Revisão. *Acta Veterinaria Brasilica*. 5(4): 351358.

Orskov ER. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*. 63(5): 1624- 1633.

Owens FN, D. Secrist DS, WHill WJ and Gill DR. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 75: 868-879.

Partida JAP, Braña VD, Jiménez SH, Rios RFG, Buendía RG. 2013. Producción de carne ovina. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. SAGARPA. Libro técnico N° 5. Ajuchitlán, Querétaro, México. 116 p.

SAGARPA. 2011.  
[www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios\\_promercado/GRANOS.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRANOS.pdf).  
Consultado el 26 de enero del 2017.

Sano H, Fujita T. 2006. Effect of supplemental calcium propionate on insulin action to blood glucose metabolism in adult sheep. *Reproduction Nutrition Development, EDP Sciences*. 46 (1): 9-18.

Sheperd AC, Combs DK. 1998. Long-term effects of acetate and propionate on voluntary feed intake by midlactation cows. *Journal of Dairy Science*. 81: 2240-2250.

Real HJJ y Rodríguez VS. 2007. Estudio de mercado de la carne de bovinos en Nuevo Morelos, municipio de Jesús Carranza, estado de Veracruz. Tesis de licenciatura. Departamento de zootecnia. UACH. México.

Rodríguez LG y Morales MM. 2015. Dinámica mundial de la producción y comercialización de la carne de bovino y su impacto en el mercado mexicano. *Economía Actual*. 8 (1): 1-5.

Rooney LW and Pflugfelder RL. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*. 63: 1607-1623.

Sadeghi A, Shawrang P. 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal protein and starch degradation of corn grain. *Animal Feed Science and Technology*. 127(1-2): 113-123.

Santos FAP, Martinez JC, Carmo CA, Pedroso AM. 2004. Sistemas de alimentacao como mecanismos de flexibilidade para a producao de leite - Leite: uma cadeia produtiva em transformacao. In: *Anais do 4º Congresso Internacional do Leite; Campo Grande. Juiz de Fora: EMBRAPA. Brasil. p.117-62.*

Santos FAP, Moscardini MC. 2007. Substituicao de fontes de amido por subprodutos ricos em pectina ou fibra de alta digestibilidade na racao de bovinos confinados. In: *Anais do 3º Simposio de Nutricao de Ruminantes; Botucatu. Botucatu: Grupo Nutrir. Brasil. p.35-52.*

Svihus B, Uhlen AK, Harstad OM. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review *Animal Feed Science and Technology*. 122: 303-320.

Stevnebø A, Sahlström S, Svihus B. 2006. Starch structure and degree of starch hydrolysis of small and large starch granules from barley varieties with varying amylose content. *Animal Feed Science and Technology*. 130(1-2): 23-38.

Tewelde A, Martínez GJC, Gutiérrez OE, Magaña JG. 2002. Utilización estratégica de los recursos genéticos para la intensificación de los sistemas de producción bovina de doble propósito. Memorias. IX Curso Internacional de Reproducción Bovina.

Theurer B.C. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminant. *Journal of Animal Science*. 63(5): 1649-1662.

Trabue S, Scoggin K, Tjandrakusuma S, Rasmussen MA and Reilly PJ. 2007. Ruminant fermentation of propylene glycol and glycerol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(17): 7043-7051.

USDA (US Department of Agriculture). 2011. Feed grains: Yearbook tables. USDA. Accessed Nov. 18, 2011. <http://www.ers.usda.gov/data/FeedGrains/FeedYearbook.aspx>.

Van Soest PJ. 1994. *Nutrition Ecology of the Ruminants*. Cornell University Press, Ithaca, NY. 476 p.

Vendramini THA, Takiya CS, Silva TH, Zanferari F, Rentas MF, Bertoni JC, Consentini CEC, Gardinal R, Acedo TS, Rennó FP. 2016. Effects of a blend of essential oils, chitosan or monensin on nutrient intake and digestibility of lactating dairy cows.

Vesterinen E, Myllärinen P, Forssell P, Söderling E., Autio K. 2002. Structural properties in relation to oral enzymatic digestibility of starch gels based on pure starch components and high amylose content. *Food Hydrocolloids*. 16(2): 161-167.

Waterman RC, Sawyer JE, Mathis CP, Hawkins DE, Donart GB, Petersen MK. 2006. Effects of supplements that contain increasing amounts of metabolizable protein with or without Caproionate salt on postpartum interval and nutrient partitioning in young beef cows. *Journal of Animal Science*. 84: 433-446.

World Economic Forum. 2013. *Alcanzar la Nueva Visión para la Agricultura: nuevos modelos de acción*. Lima, Perú.

Wolters MG, Cone JW. 1992. Prediction of degradability of starch by gelatinization enthalpy as measured by differential scanning calorimetry. *Starch Biosystems Nutrition Biomedical*. 44(1): 14-18.

Xu X, Deesa D, Dechesnea A, Xing-Feng H, Vissera RGF, Trindade LM. 2017. Starch phosphorylation plays an important role in starch biosynthesis. *Carbohydrate Polymers*. 157: 1628-1637.

Yan Y, Chenbo L, Yelin Z, Tian W. 2011. Application of calcium propionate in animal production. *Feed Industry*. 16: 1005-1016.

Yokoyama MT and Johnson KA. 1988. Microbiology of the rumen and intestine. In: Church D. C. (ed). *The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition*. Englewood Cliffs: Prentice Hall. pp: 125.

Zhang XZ, Qing-Xiang M, Lin L, Cui ZL and Li-Ping R. 2015. The effect of calcium propionate supplementation on performance, meat quality, and mRNA expression of

finishing steers fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 24(2): 100106.

Aguilar, S. A. 1987. Muestreo de suelos y manejo de las muestras. In: *El Análisis Químico de Suelos*. Tah IJF (comp.). Chapingo. Estado de México. 1984. Universidad Autónoma Chapingo, pp: 49-57.

AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1995. Arlington Virginia. USA. 853 p.

Arteaga C., V. 2014. Estado nutricional del ganado y acumulación de forraje en una unidad de producción de becerros. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.

Clesceri, S. L., E. A. Greenberg, and R. R. Trusseli, 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, Ed. Díaz De Santos, España, pp: 4-187 y 4-195

Domínguez, V., I. A., y M. Huerta B. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.

Fick, K. R., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, J. H. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Segunda Edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tizimín, Yucatán. Clave geoestadística 31096. 9 p.

Le Du, Y. L. P., and P. D. Penning. 1982. Animal based techniques for estimating herbage intake. In: J. Leaver (ed.) *Herbage Intake Handbook*, (The British Grassland Society).

McDowell, L. R. 1985. *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, Inc. USA. 444 p.

McDowell, L. R. and J. D. Arthington. 2005. *Minerals for grazing ruminants in tropical regimes*. 4th Edition. University of Florida, Gainesville, pp: 186.

Morales A. E., I. Domínguez V., M. González R., G. Jaramillo E., O. Castelán O., N. Pescador S., y M. Huerta B. 2007. Diagnostico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. *Técnica Pecuaria en México* 45: 329-344.

Muñoz- González, J. C., Huerta-Bravo, M., Rangel-Santos R., Lara-Bueno, A. y De la Rosa Arana J. L. 2014. Evaluación mineral de forrajes del trópico húmedo mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17 (2014): 285 – 287.

Muñoz- González, J. C., Huerta-Bravo, M., Rangel-Santos R., Lara-Bueno, A. y De la Rosa Arana J. L. 2016. Producción y calidad nutrimental de forrajes en condiciones del



Trópico Húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.* 16: 3315-3327.

Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Ramírez-Valverde R., González-Alcorta, M. 2015. Estado mineral y suplemento con alambre de óxido de cobre en cabras de San José Teacalco, Tlaxcala. *Ecosistemas y recursos agropecuarios.* 2(5): 203-210.

Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Ramírez-Valverde R., González-Alcorta, M. 2017. Perfil mineral en agua, suelo, forraje y suero sanguíneo de ovinos en Tlaxcala, México. *Ecosist. Recur. Agropec.*4(12):443-451.

Perkin-Elmer. 1996. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy.* United States of America. 300 p.

Ramos O. R., R. M. Sepúlveda, y F. M. Villalobos. 2003. *El Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis.* Edit. Plaza y Valdés, y Universidad Autónoma de Baja California. 212 p.

Richards, J. D., J. Zhao., R. J. Harrell, C. Atwelland, and J. J. Dibner. 2010. Trace Mineral Nutrition in Poultry and Swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 23: 15271534.

SAS. 2004. *SAS/STAT 9.1. User's Guide.* Vol. 1-7. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180 p.

Steel, R. G. D., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach.* 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA.

Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant.* 2nd Ed. Cornell University Press. 476 p.

Vázquez, A. J. F., Rojo, R.R., García, M., López, M., Salem, A.F., Domínguez, I.A., Pescador, N. and Tinoco, L., 2011. Effect of season on serum Cu and Zn concentrations in crossbred goats having different reproductive status under semiarid rangeland conditions in southern Mexico State. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 331-335.

Vieyra-Alberto, R., I. A. Domínguez-Vara., G. Olmos-Oropeza., J. F. Martínez-Montoya., J. L. Borquez-Gastelum., J. Palacio-Nuñez., J. A. Lugo de la Fuente., E. Morales-Almaráz. 2013. Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la Huasteca Potosina, México. *Agrociencia* 47: 121-133.

Waldron, K. J., J. C. Rutherford, D. Ford, and N. J. Robinson. 2009. Metalloproteins and metal sensing. *Nature* 460: 823-830.

Waldron, M. R. 2010. Impact of metabolic and oxidative stressors on periparturient immune function and health, Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop.

## CAPÍTULO II.

### **CONSUMO DE MATERIA SECA, FERMENTACIÓN RUMINAL Y RENDIMIENTO EN BORREGOS PELIBUEY ALIMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE PROTEÍNA**

#### **DRY MATTER INTAKE, RUMEN FERMENTATION AND PERFORMANCE IN PELIBUEY SHEEP FED WITH DIFFERENT LEVELS OF PROTEIN**

Gerardo Aguilar-Gutiérrez<sup>1</sup>, Benjamín Ortiz de la Rosa<sup>1</sup>, Angel T. Piñero-Vázquez<sup>1\*</sup>, Julio Porfirio Ramón Ugalde<sup>1</sup>, Maricela Canul-Solís<sup>1</sup>, Pablo Alfonso Velázquez Madrazo<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal. Avenida Tecnológico Mérida, Yucatán México. C.P. 97345.

\*pineiroiamc@gmail.com

#### **2.1 RESUMEN**

La producción intensiva de ganado para carne basa su alimentación en granos y oleaginosas lo que limita la rentabilidad de empresas ganaderas debido al alto costo de insumos alimenticios. Existen fluctuaciones climáticas que afectan disponibilidad de biomasa y la calidad nutricional de los insumos. Para que un animal presente su potencial genético para ganancia de peso y conversión alimenticia, es necesario atender sus necesidades de proteína, energía, minerales y vitaminas. Se ha observado que conforme se incrementa la concentración de proteína en la dieta se producen cambios importantes en el ambiente ruminal. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del incremento de niveles de Proteína Cruda (PC) sobre el consumo, ganancia de peso, fermentación ruminal y rendimiento productivo en ovinos Pelibuey. Los 18 animales con peso vivo promedio de  $13.59 \pm 3.50$  kg fueron alimentados por 75 días en jaulas metabólicas individuales con tres dietas experimentales de tres niveles de PC (14, 16 y 18%) con un diseño completamente al azar para medir repetidamente Consumo de Materia Seca, Ganancia de Peso Diario, Conversión

Alimenticia y Fermentación ruminal. Se encontró que el incremento de la PC en la dieta no afectó el DMI ( $P>0.07$ ). La ganancia de peso diario incrementó ( $P<0.05$ ) conforme incrementaba el porcentaje de proteína. La eficiencia alimentaria no se vio significativamente afectada ( $P>0.05$ ) por los diferentes niveles de proteína en la dieta, con respecto a la conversión alimenticia, no se observaron diferencias en los tratamientos. El pH ruminal ( $\bar{X}=6.69$ ) y el ácido acético fueron similares entre tratamientos ( $P>0.05$ ), mientras que el ac. propiónico tendió a subir en las dietas con 18% de PC y los ac. butírico y valérico decrecieron respectivamente ( $P<0.05$ ). Se concluye que incrementar el nivel de PC arriba del 14% en la dieta no afecta el consumo de materia seca y mejora tanto la eficiencia de conversión alimenticia como la ganancia de peso.

**Palabras clave:** Ovinos Pelibuey, dietas proteicas, comportamiento productivo, fermentación ruminal, fluctuaciones cíclicas.

### **2.3 ABSTRACT**

The intensive production of cattle for meat bases its feeding on grains and oilseeds, which limits the profitability of livestock companies due to the high cost of food supplies. There are climatic fluctuations that affect the availability of biomass and the nutritional quality of the supplies. For an animal to present its genetic potential for weight gain and feed conversion, it is necessary to satisfy its needs for protein, energy, minerals and vitamins. It has been observed that as the concentration of protein in the diet increases, important changes take place in the ruminal environment. The objective of the study was to evaluate the effect of increasing Crude Protein (CP) levels on intake, weight gain, ruminal fermentation and productive performance in Pelibuey sheep. The 18 animals with an average live weight of

13.59±3.50 kg were fed for 75 days in individual metabolic cages with three experimental diets with three levels of CP (14, 16 and 18%) with a completely randomized design to repeatedly measure Dry Matter intake, Daily Weight Gain, Feed Conversion and Ruminal Fermentation. It was found that the increase in CP in the diet did not affect the DMI ( $P>0.07$ ). Daily weight gain increased ( $P<0.05$ ) as protein percentage increased. Feed efficiency was not significantly affected ( $P>0.05$ ) by the different levels of protein in the diet, with respect to feed conversion, no differences were observed in the treatments. Ruminal pH ( $\bar{X}$  =6.69) and acetic acid were similar between treatments ( $P>0.05$ ), while propionic acid tended to rise in the diets with 18% CP and butyric acid and valeric decreased respectively ( $P<0.05$ ). It is concluded that increasing the CP level above 14% in the diet does not affect dry matter intake and improves both feed conversion efficiency and weight gain.

**Keywords:** Pelibuey sheep, protein diets, productive behavior, ruminal fermentation, cyclical fluctuations.

## 2.4 LITERATURA CITADA

AMEG, 2012. Carne de Bovino. Indicadores Económicos. [www. ameg.com](http://www.ameg.com). Consultado el 16 de julio del 2014.

AOAC., 1980. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th. Edition, Washington D.C. USA: p 70.

Beauchemin, K.A., L.A. McClellan, S.D.M. Jones, y G.C. Kozub. 1995. Effects of crude protein content, protein degradability and energy concentration of the diet on growth and carcass characteristics of market lambs fed high concentrate diet. *Canadian Journal Animal Science*, 75, 387-395.

Bobadilla-Soto EE, Flores-Padilla JP y Perea-Peña M. 2017. Comercio exterior del sector ovino mexicano antes y después del Tratado de Libre Comercio con América del Norte. *Economía y Sociedad*; XXI (37):35-49. [fecha de Consulta 15 de febrero de 2022]. ISSN: 1870-414X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=51054506003>

Bobadilla-Soto EE, Ochoa-Ambriz F, Perea-Peña M. 2021. Dinámica de la producción y consumo de carne ovina en México 1970 a 2019. *Agron. Mesoam.* 32(3):963-982, septiembre-diciembre, 2021ISSN 2215-3608 doi:10.15517/am.v32i3.44473Chun-tao, Y., S.I. Bing-wen, D. Qi-yu, J. Hai, Z. Shu-qin, y T. Ya. 2015. Rumen fermentation and bacterial communities in weaned Chahaer lambs on diets with 2 different protein levels. *Journal of Integrative Agriculture*. Doi: 10.1016/S2095-3119(15)61217-5.

Cochran, W.G y G.M. Cox. 1991. Diseños Experimentales. 2ª Ed.-México. Trillas. p 661.

CONAGRO. 2006. La ganadería en México. Documento informativo. <http://www.conagro.com/novedades/ganaderia.html>. Consultado el 6 de agosto del 2016.

Ensminger, M.E., J.E. Oldfield y W.W. Heinemann. 1990. Pasture and Range Forages. 2nd Edn. In: Feeds and Nutrition, The Ensminger Publishing Company, California, pp: 266-276. ISBN: 10: 0813430666 ISBN13: 978 0813430669.

Congio GFS, Bannik A, Mayorga OL. 2021. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean región: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production* 312 (2021) 127693.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)., 2009. Global agriculture towards 2050. High Level Expert Forum Issues Paper. FAO, Rome.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)., 2011. World livestock 2011: Livestock in food security. FAO, Rome. <http://www.fao.org/docrep/014/i2373e/i2373e.pdf> (accessed 08.20.15).

Fluharty, F.L., y K.E. McClure, 1997. Effects of dietary energy intake and protein concentration on performance and visceral organ mass in lambs. *Journal of Animal Science*, 75, 604–610.

García E. Modifications to the climate classification system of Copen to adapt it to the conditions of the Mexican Republic. Mexico, Mexico: Institute of Geography, National Autonomous University of Mexico; 1981.

Hales, K.E., T.M. Brown-Brandl y H.C. Freetly. 2014. Effects of decreased dietary roughage concentration on energy metabolism and nutrient balance in finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 92, 264-71.

Hynes DN, Stergiadis S, Gordon A, Yan T. 2016. Effects of concentrate crude protein content on nutrient digestibility, energy utilization, and methane emissions in lactating dairy cows fed. *Journal of Dairy Science* Vol. 99 No. 11, 2016

Javed, S.I., J. Asif y A. Muhammad .2010. The digestibility of nutrients and the performance of the feed batch of lambs fed diets that vary in protein and energy content. *Tropical Animal Health and Production*, 42: 941–946.

Kaya, I., Y. Unal, T. Sahin y D. Elmali. 2009. Effect of Different Protein Levels on Fattening Performance, Digestibility and Rumen Parameters in Finishing Lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8, 309–312.

Lu, C.D., y M.J. Potchoiba. 1990. Feed intake and weight gain of growing goats fed diets of various energy and protein levels, *Journal Animal Science*, 68, 1751–1759.

Mendoza, M.G.D., P.F.X. Plata, C.R. Espinoza y B.A. Lara. 2008. Manejo nutricional para mejorar la utilización de la energía en bovinos, *Universidad y Ciencia*, 24, 75-87.

NRC (National Research Council)., 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washington, DC, USA. National Academy Press. 362 p.

Piñeiro-Vázquez, A.T., J.R. Canul-Solis, F. Casanova-Lugo, A.J. Chay-Canul, A. AyalaBurgos y F.J. Solorio-Sánchez. 2017 emisión de metano en ovinos alimentados con *Pennisetum purpureum* y árboles que contienen taninos condensados. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8, 111-119.

Piñeiro-Vázquez, A.T., G.O. Jiménez-Ferrer, A.J. Chay-Canul, F. Casanova-Lugo, V. DíazEcheverría, A.J. Ayala-Burgos, F.J. Solorio-Sánchez, C.F. Aguilar-Pérez y J.C. Ku-

Vera. 2018. Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*, 228, 194-201.

Piñeiro-Vázquez, A.T., A.J. Ayala-Burgos, A.J. Chay-Canul y J.C. Ku-Vera. 2013. Dry matter intake and digestibility of rations replacing concentrates with graduated levels of *Enterolobium cyclocarpum* in Pelibuey lambs. *Tropical Animal Health and Production*. 2: 577-583. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0262-6>.

Poppi, D.P., y S.R. McLennan. 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science*, 73, 278-290. doi: 10.2527/1995.731278x.

Prakash, B., T.K. Dutta y I.A. Siddiqui. 2006. Effect of plane of nutrition on nutrient utilization and 470 performance of Barbari kids, *Indian Journal Animal Nutrition*, 23, 29–33.

Ramos-Morales, E., A. Arco-Pérez, A.I. Martín-García, D.R. Yáñez-Ruiz, P. Frutos y G. Hervás. 2014. Use of stomach tubing as an alternative to rumen cannulation to study ruminal fermentation and microbiota in sheep and goats, *Animal Feed Science and Technology*, 198, 57–66.

Ríos-Rincón, F.G., A. Estrada-Angulo, A. Plascencia, M.A. López-Soto, B.I. Castro-Pérez, J.J. Portillo-Loera y H. Dávila-Ramos. 2014. Influence of protein and energy level in finishing diets for feedlot hair lambs: growth performance, dietary energetics and carcass characteristics, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 271, 55–61. doi:10.5713/ajas.2013.13307.

Rosegrant, M.W., X. Cai y S.A. Cline. 2002. Global water outlook to 2025: Averting and impending crisis. International Water Management Institute (IWMI), 2020 Vision for Food,



Agriculture, and the Environment, International Food Policy Research Institute (IFPRI). Washington, D.C., Colombo, Sri Lanka.

Ryan, J.P. 1980. Determination of volatile fatty acids and some related compounds in ovine rumen fluid, urine and blood plasma by gas-liquid chromatography. *Analytical Biochemistry*, 108, 374-384.

SAS. 2006. Institute Inc., SAS/STAT. Software, Ver. 9.00. SAS, Cary, NC, USA. 2006.

Steel, R.G.D., J.H. Torrie y D.A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA.

Tewelde, A., G.J.C. Martínez, O.E. Gutiérrez y J.G. Magaña. 2002. Utilización estratégica de los recursos genéticos para la intensificación de los sistemas de producción bovina de doble propósito. *Memorias. IX Curso Internacional de Reproducción Bovina*.

UN (United Nations)., 2013. World population projected to reach 9.6 billion by 2050. United Nations Department of Economic and Social Affairs. <<http://www.un.org/en/development/desa/news/population/un-report-world-population-projectedto-reach-9-6-billion-by-2050.html>>.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson y B.A. Lewis.1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583.

World Economic Forum., 2013. *Alcanzar la Nueva Visión para la Agricultura: nuevos modelos de acción*. Lima, Perú.