



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA**
UNIDAD IZTAPALAPA

DIVISION DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Estudio de la fisiología digestiva, características de la canal y calidad de la carne en
corderos en crecimiento – finalización con y sin suplementación de selenio y
magnesio.**

T E S I S
Que para obtener el grado de:
DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Luz Marina Hernández Calva

México D. F. Octubre de 2007

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación de selenio (Se) y magnesio (Mg) sobre la función digestiva, las características corporales, de la canal, en la carne y el análisis sensorial de la carne de corderos. Los tratamientos utilizados fueron: 1) Sin suplemento de óxido de Mg (MgO) y Selenito de sodio (Na₂SO₃): dieta con 0.18% de Mg y 0.1 µg/g Se, 2) Con suplementación de MgO: dieta con 0.32% de Mg y 0.1 µg/g Se, 3) Con suplementación de Na₂SO₃: dieta con 0.3 µg/g Se y 4) Con suplementación de MgO y Na₂SO₃: dieta con 0.32% de Mg y 0.3 µg/g Se. El estudio se dividió en tres fases: *Prueba de función digestiva*: Cuatro corderos con un peso de 30.8 kg y una edad de 7 meses fueron canulados en rumen y duodeno. Los animales fueron alojados en jaulas metabólicas, el consumo del alimento se realizó dos veces al día, ajustándolo para que no hubiera rechazos. Los tratamientos se distribuyeron en un Cuadro látino con una adaptación de 10 días y 4 días de muestreo por periodo; las comparaciones entre los promedios de los efectos se realizaron con contrastes. Las muestras de líquido ruminal fueron utilizadas para determinar el pH, la concentración de AGV y la concentración de minerales. Los muestreos de líquido duodenal y fecal fueron usados para determinar las digestibilidades pregástricas, postgástricas y totales, a través de óxido de cromo, incluido en la dieta como marcador. *Prueba de comportamiento productivo y variables de respuesta al sacrificio*: 64 corderos fueron distribuidos en los cuatro tratamientos con 4 repeticiones por bloque, utilizando un diseño en bloques con arreglo factorial 2 x 2. Se determinó el consumo de materia seca, la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia. Los animales se sacrificaron con un peso promedio de 40 kg. Se obtuvieron las proporciones corporales en cada animal y posteriormente se diseccionaron las canales para estimar las proporciones en cortes. *Características de la carne*: Se obtuvieron muestras de carne de lomo (músculos *Longissimus lumborum*) y cuello (músculos braquicefálico y esternocéfálico) inmediatamente después de realizar la disección de la canal. Los análisis realizados fueron análisis físicos, químicos y sensoriales de la carne. Los resultados de las pruebas mostraron interacción entre el nivel de Mg y Se de la dieta sobre la tasa de pasaje en el intestino delgado (P < 0.1). El

incremento del Se en la dieta con Na_2SO_3 para dietas que contienen 0.18% Mg mejoró (13%) el pasaje de Mg al intestino delgado. También hubo interacción ($P < 0.1$) y efecto Mg ($P < 0.01$) sobre la digestión total de Mg. La suplementación con Mg incrementó (54.5% con 0.1 $\mu\text{g/g}$ Se, y 57.8% con 0.3 $\mu\text{g/g}$ Se) la digestión de Mg en el tracto total. El pasaje de nitrógeno del alimento al intestino delgado fue mayor (26.4%, $P < 0.1$) con 0.32% de Mg en la dieta, y hubo una interacción ($P < 0.05$) entre Mg y Se suplementado en el alimento sobre el nitrógeno del alimento al flujo del duodeno y digestión del rumen. La eficiencia microbiana ruminal (g NM/kg MO verdaderamente fermentada) y eficiencia de nitrógeno (nitrógeno no amoniacal que entra al intestino delgado/nitrógeno consumido) tendieron a incrementar ($P = 0.19$) con la suplementación de Se o Mg en la dieta. Hubo una interacción entre el nivel de Se y Mg en la dieta sobre la tasa de pasaje del Se al intestino delgado ($P < 0.05$). El flujo de Se fue atribuido a la concentración de Mg con 0.18 y 0.32% fue 46 y 42.1%, respectivamente. Hubo una interacción entre el nivel de Mg y Se ($P < 0.05$) sobre la solubilidad del Mg, proporción molar de acetato y la relación molar de acético: propiónico. Con 0.3 $\mu\text{g/gSe}$ se incrementó (4.8%, $P < 0.05$) la concentración molar de butirato. La máxima concentración observada de Mg soluble ruminal fue de 17.6 mg/dL. Por lo tanto, el incremento del nivel de Mg en la dieta incrementó (38.8%, $P < 0.05$) la absorción aparente de Mg. No se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia. El consumo de materia seca, presentó un efecto Se en todos los periodos del estudio, la suplementación con Na_2SeO_3 disminuyó el consumo un 10.5%. En las proporciones corporales no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$), pero los rendimientos comerciales y biológicos en las canales mejoraron (2.5, 3 y 5.3%; $P < 0.1$) con la suplementación de Na_2SeO_3 como fuente de Se. Estas diferencias fueron debidas a la mayor proporción de tejido muscular (17.6%) en la región de las piernas. En referencia a las características físico químicas de la carne, la coordenada L "luminosidad" de color de cuello incrementó ($P < 0.05$) 8 unidades con la suplementación de Se, mientras que la coordenada a (*índice de rojo a verde*) "tonalidad" disminuyó ($P < 0.1$) 16 unidades con la suplementación de Se. Las concentraciones promedio de Se y Mg en el tejido muscular fueron de 1.77 $\mu\text{g/g}$ y 0.7 mg/g, sin diferencias significativas ($P > 0.05$)

entre los tratamientos. En la región de cuello, los ácidos mirístico y palmitico presentaron interacción, la suplementación con MgO a 0.1 $\mu\text{g/gSe}$ incrementó la concentración (mirístico: 37% cuello ($P < 0.01$) y 18.8% lomo ($P > 0.1$), palmitico: 8.3% ($P < 0.05$) cuello y 6.2% lomo ($P < 0.1$)), pero posteriormente la suplementación con MgO y Na_2SeO_3 disminuyó la concentración de ambos ácidos grasos ((mirístico: 17% cuello ($P < 0.01$) y 16% lomo ($P > 0.1$), palmitico: 5.9% ($P < 0.05$) cuello y 6.2% lomo ($P < 0.1$)). Las concentraciones promedio de los ácidos grasos palmitico y estearico fueron los más abundantes en el grupo de los saturados y el ácido oleico en el grupo de los insaturados. En la prueba de análisis sensorial, la calidad general no se vio afectada por los tratamientos; pero el sabor, la jugosidad y la blandura en el músculo del cuello incrementaron (28, 40 y 23.5%) con la suplementación de Mg. En el músculo del lomo, el olor presentó una disminución (18% $P < 0.01$) con la suplementación de Mg. El efecto interacción Mg x Se se presentó en el color y olor del lomo. La suavidad del cuello también se mejoró (23.5%, $P < 0.05$) con la suplementación de Se. Se concluye que las diferencias entre las concentraciones de Se y Mg modifican la digestibilidad de los propios u otros nutrientes. También se mejoró el rendimiento de la canal asociada a la masa muscular de las piernas. El color se modificó y la degustación presentada por los panelistas en el análisis sensorial presentó diferencias entre los tratamientos.

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the effect of the supplementation of selenium (Se) and magnesium (Mg) on the digestive function, the corporal characteristics of the carcass and the sensorial analysis of the meat of lambs. The used treatments were: 1) Without supplement of oxide of Mg (MgO) and Selenite of sodium (Na_2SO_3): diet with 0.18% of Mg and 0.1 $\mu\text{g/g Se}$, 2) With

supplementation of MgO: diet with 0.32% of Mg and 0.1 µg/g Se, 3) With supplementation of Na₂SO₃: diet with 0.3 µg/g Se and 4) With supplementation of MgO and Na₂SO₃: diet with 0.32% of Mg and 0.3 µg/g Se. The study was divided in three phases: *Test of digestive function*: Four lambs with to weight of 30.8 kg and an age of 7 months were cannulated in rumen and duodenum. The animals were housed in metabolic cages; the consumption of the food was carried out twice a day, adjusting it so that there were not rejections. The treatments were distributed in a Latin Square with an adaptation of 10 days and 4 days of sampling per period; the comparisons among the averages of the effects were carried out with contrasts. The samples of the ruminal liquid were used to determine the pH, the concentration of VFA and the concentration of minerals. The samplings of duodenal and fecal liquid were used to determine the digestibility pre-gastric, post-gastric and total, with the inclusion of 0.4 % chromic oxide as a digesta marker. *Test of productive behavior and answer variables to the sacrifice*: 64 lambs were distributed in the four treatments with 4 repetitions for block, using a design in blocks with factorial arrangement 2 x 2. It was determined the consumption of dry matter, the daily gain of weight and the nutritious conversion. The animals were sacrificed with a weight average of 40 kg. The corporal proportions were obtained in each animal and later on the carcasses were dissected to estimate the proportions in cuts. *Characteristic of the meat*: samples of loin meat were obtained from the neck (*Braquicephalic* and *Esternocephalic* muscles) and loin (*Longissimus lumborum* muscle) immediately after carrying out the dissection of the carcass. The carried out analyses were physical, chemical and sensorial analysis of the meat. The results of the tests showed interaction between the level of Mg and Se of the diet on the passage rate in the small intestine ($P < 0.1$). The increment of the Se in the diet with Na₂SeO₃ for diets that contain 0.18% Mg improved (13%) the passage of Mg to the small intestine. There was also interaction ($P < 0.1$) and effect Mg ($P < 0.01$) on the total digestion of Mg. The supplementation with Mg increased (54.5% with 0.1 µg/g Se, and 57.8% with 0.3 µg/g Se) the digestion of Mg in the total tract. The nitrogen passage of the food to the small intestine was bigger (26.4%, $P < 0.1$) with 0.32% of Mg in the diet, and there was an interaction ($P < 0.05$) between Mg and Se supplemented in the food on the nitrogen of the food to the flow of the duodenum and digestion of the rumen.

The efficiency microbial ruminal (g NM/kg MO truly fermented) and the nitrogen efficiency (nitrogen non amoniacal that enters into the small intestine /consumed nitrogen) tend to increase ($P = 0.19$) with the supplementation of Se or Mg in the diet. There was an interaction between the level of Se and Mg in the diet on the rate of passage of the Se to the small intestine ($P < 0.05$). The flow of Se was attributed to the concentration of Mg with 0.18 and 0.32% it was 46 and 42.1%, respectively. There was an interaction between the level of Mg and Se ($P < 0.05$) on the solubility of the Mg, proportion molar of acetic and the relationship molar of acetic: propionic. With 0.3 $\mu\text{g/gSe}$ was increased (4.8%, $P < 0.05$) the concentration molar of butirate. The maximum observed concentration of Mg soluble ruminal was of 17.6 mg/dL. Therefore, the increment of the level of Mg in the diet increased (38.8%, $P < 0.05$) the apparent absorption of Mg. Significant differences were not presented ($P > 0.05$) in the daily gain of weight and the nutritious conversion. The consumption of dry matter, presented an effect Se in every period of the study, the supplementation with Na_2SeO_3 diminished the consumption 10.5%. In the corporal proportions significant differences were not presented ($P > 0.05$), but the commercial and biological performances in the carcass improved (2.5, 3 and 5.3%; $P < 0.1$) with the supplementation of Na_2SeO_3 like source of Se. These differences were due to the biggest proportion of muscular tissue (17.6%) in the region of the legs. In reference to the chemical physical characteristics of the meat, the axis L "brightness" of neck color increased ($P < 0.05$) 8 units with the supplementation of Se, while the axis a (index of red to green) "tonality" diminished ($P < 0.1$) 16 units with the supplementation of Se. The concentrations average of Se and Mg in the muscular tissue was of 1.77 $\mu\text{g/g}$ and 0.7 mg/g, without significant differences ($P > 0.05$) among the treatments. In the neck region, the acids miristic and palmitic showed interaction, the supplementation with MgO to 0.1 $\mu\text{g/gSe}$ increased the concentration (miristic: 37% neck ($P < 0.01$)) and 18.8% loin ($P > 0.1$), palmitic: 8.3% ($P < 0.05$) neck and 6.2% loin ($P < 0.1$)), but later on the supplementation with MgO and Na_2SeO_3 diminished the concentration of both fatty acids ((miristic: 17% neck ($P < 0.01$) and 16% loin ($P > 0.1$), palmitic: 5.9% ($P < 0.05$) neck and 6.2% loin ($P < 0.1$)). The concentrations average of the fatty acids palmitic and estearic were the most abundant in the group of those saturated

and the oleic acid in the group of the no saturated. In the test of sensorial analysis, the general quality was not affected by the treatments; but the flavor, the juiciness and the softness in the muscle of the neck increased (28, 40 and 23.5%) with the supplementation of Mg. In the muscle of the loin, the odor presented a decrease (18% $P < 0.01$) with the supplementation of Mg. The effect interaction Mg x Se was presented in the color and odor of the loin. The softness of the neck also improved (23.5%, $P < 0.05$) with the supplementation of Se. Concluding that the differences between the concentrations of Se and Mg modify the digestibility of the own ones or other nutrients. The performance of the carcass associated to the muscular mass of the legs was improved too. The color was modified and the tasting presented by the panelists in the sensorial analysis presented differences among the treatments.

CONTENIDO

Pagina	
INTRODUCCIÓN	1
.	
2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	
2.1 Importancia y funciones del magnesio	3
2.1.1 Funciones del magnesio.....	3
.	5
2.1.2 Requerimientos de magnesio	6
.	8
2.1.3 Sitios de absorción del magnesio	10
.	11
2.1.4 Factores que modulan la absorción de magnesio.	
... 2.1.5 Metabolismo del magnesio	13
...	16
2.1.6 Fuentes de suplementación del magnesio	17
.	18
2.1.7 Características físico-químicas del magnesio.	19
.	23
2.2 Importancia y funciones del selenio	
2.2.1 Funciones del selenio.	24
.	26
2.2.2 Requerimientos de selenio.	31
2.2.3 Sitios de absorción del selenio.	
.	35
2.2.4 Factores que limitan la absorción de selenio.	37
.	39
2.2.5 Metabolismo del selenio.	46
.	48
2.2.6 Fuentes de suplementación del selenio.	51

.	
2.3 Canal ovina	53
2.3.1 Características de la canal ovina	
.	
2.3.2 Factores asociados a la clasificación de la canal.	54
.	54
2.3.3 Normas de clasificación ovina. Internacionales y nacional	
.	
2.4 Características de la calidad de la carne	55
2.4.1 Color.	55
.	55
2.4.1.1 Métodos para medir el color	56
.	57
2.4.2 Textura.	58
.	59
2.4.3 pH.	60
.	60
2.4.4 Capacidad de retención de agua.	60
.	61
2.4.5 Emulsificación.	
.	61
.	62
3 JUSTIFICACIÓN.	62
.	64
.	64
4 OBJETIVOS	65
4.1 Objetivo general..	65
.	65
4.2 Objetivos específicos..	66
.	66
.	68
5 MATERIALES Y MÉTODOS	68
5.1 Prueba de función digestiva	69

.	70
5.1.1 Lugar de trabajo	71
5.1.2 Animales.	72
5.1.3 Tratamientos.	72
. . . 5.1.4 Consumo de alimento	73
. . .	74
5.1.5 Muestreo de líquido ruminal y aislamiento de microorganismos. .	75
.	75
5.1.6 Muestreo de contenido duodenal y fecal	75
.	76
5.2 Prueba de comportamiento productivo y características de la canal. . .	76
.	77
5.2.1 Localización.	77
.	78
5.2.2 Animales y distribución de los grupos.	78
.	78
5.2.3 Tratamientos.	79
.	81
5.2.4 Dietas y variables medidas (consumo de materia seca (CMS) y ganancia de peso (GDP)).	82 83
.	82
5.2.5 Sacrificio de los animales.	82
.	83
5.2.6 Variables de la canal.	84
.	
5.3 Calidad de la carne.	
.	85
5.3.1 Muestreo de la canal	
5.4 Métodos analíticos.	93
5.4.1 Parámetros en la función digestiva.	102
.	
5.4.1.1 Materia seca.	110
.	

5.4.1.2 Cenizas	111
5.4.1.3 Nitrógeno total	127
5.4.1.4 Nitrógeno amoniacal.	
5.4.1.5 Purinas	
5.4.1.6 Selenio	
5.4.1.7 Magnesio.	
5.4.1.8 Oxido de cromo.	
5.4.1.9 Fibra detergente neutra.	
5.4.1.10 Almidón.	
5.4.1.11 Acidos grasos volátiles	
5.4.1.12 Energía	
5.4.1.13 Metano.	
5.4.2 Parámetros en calidad de la carne.	
5.4.2.1 Color	
5.4.2.2 Textura	
5.4.2.3 Dureza de carne cocida	
5.4.2.4 Determinación de pH.	
5.4.2.5 Actividad de agua	

5.4.2.6	Capacidad de retención de agua
5.4.2.7	Capacidad de emulsión.
5.4.2.8	Índice peróxido
5.4.2.9	Ácidos grasos de cadena larga.
5.4.2.10	Análisis sensorial
5.5	Diseño experimental y análisis estadístico.
5.5.1	Diseños experimentales.
5.5.1.1	Función digestiva.
5.5.1.2	Comportamiento productivo y características de la canal
5.5.1.3	Calidad de la carne.
5.5.2	Análisis estadístico.
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
6.1	Prueba de función digestiva.
6.2	Prueba de comportamiento productivo y respuesta de las características corporales al sacrificio.
6.3	Características físico químicas de la carne
7.	CONCLUSIONES.

.
8. BIBLIOGRAFIA.

.
9. ANEXOS.

1 INTRODUCCIÓN

La comercialización de los corderos finalizados en engordas intensivas están adquiriendo una importancia en ciertos sectores del mercado de la población; los cortes selectos para platillos especiales tienen éxito debido a la oferta, el precio y la calidad que adquieren los animales para el consumo (Martínez, 2003). Por tal motivo, las estrategias nutricionales en los animales destinados a la engorda en el corral deben de resultar en la mejora de la ganancia diaria de peso, la conversión alimenticia y la calidad de la carne. Particularmente, el estudio de la interacción de algunos minerales incluidos en la dieta puede ofrecer alternativas para mejorar estos parámetros.

Las estimaciones de los requerimientos minerales para la nutrición de ovinos se basan en las tablas de la National Research Council (NRC, 2007). Aún así en la actualidad la información que existe sobre los requerimientos minerales para la nutrición de rumiantes son escasas. La información sobre los requerimientos de Mg es limitada; las estimaciones para corderos en la etapa de crecimiento-finalización considera el factor de 0.41 multiplicado por la

ganancia diaria de peso (GDP) y dividido entre el coeficiente de absorción de 0.17, por lo que la concentración de Mg en una dieta integral para ovinos en engorda resultan menores a lo que la propia dieta aporta. Zinn *et al.* (1996) y Ramírez y Zinn (2000), observaron que el incremento de Mg en la ración de bovinos con niveles de 30-50 mg/kg Peso Vivo (PV), mejoró la ganancia diaria de peso, la conversión alimenticia y el grado de marmoleo de la carne. Por otro lado, el selenio es un microelemento deficiente en el altiplano de México, y su deficiencia es causa común de la distrofia muscular nutricional en pequeños rumiantes (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001). En trabajos realizados en cerdos con un consumo de selenito de sodio de hasta 0.3 µg/g de Se/ración materia seca (MS), se observaron mejores respuestas con la dieta complementada (Peplowski *et al.*, 1981). En corderos se podría utilizar la concentración de 0.3 µg/g Se/ración MS, debido al problema severo de la deficiencia de Se que se presenta en el altiplano mexicano.

La importancia de los minerales con referencia a la calidad de la canal y de la carne, se puede citar que el Mg posiblemente esté involucrado en la hiperplasia. Por otra parte el Se puede tener una importancia relevante en la hipertrofia de los adipositos que definen el marmoleo. Hay investigaciones que confirman la importancia del Mg y el Se. Ramírez *et al.*, (1998) y Ramírez y Zinn (2000) han demostrado que la suplementación de MgO en raciones integrales con grasa mejoran el grado de marmoleo. El incremento del nivel de selenio en la ración (0.15 a 0.3 µg/g) por arriba de lo que recomienda NRC (1988) para cerdos, mejoró la calidad de la carne (Ellis y McKeith, 2000). Con los antecedentes citados se puede esperar una interacción de ambos minerales

en el mejoramiento de las ganancias diarias de peso y mejor calidad de la carne.

2 REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importancia y funciones del magnesio

2.1.1 Funciones del magnesio

El magnesio actúa como regulador de la estructura de los ribosomas, síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, generación y transmisión de los impulsos nerviosos y la contracción muscular. Es cofactor de varias enzimas involucradas en la fosforilación oxidativa y en el metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, y compite con el calcio en procesos de uniones de excitación y secreción (Fontenot *et al.*, 1989). Cerca del 70% se almacena en el esqueleto, 25% en el músculo esquelético y 1% en el espacio extracelular (Greene *et al.*, 1983a; Greene *et al.*, 1983b). En plasma se puede encontrar libre (55%), en forma de complejos (13%) o unido a proteínas (32%).

2.1.2 Requerimientos de magnesio

La información sobre el requerimiento de Mg de ovinos para producción de carne todavía es limitada. Las estimaciones del NRC (2007). Consideran los requerimientos para mantenimiento y crecimiento en consumo de Mg en gramos por día. Si un cordero pesa 24 kg, el requerimiento para mantenimiento, $Mg\ g/d = (0.003 \times 24)/0.17$ es de 0.4235. Considerando una GDP de 280 g, el requerimiento para crecimiento, $Mg\ d/d = (0.41 \times .280)/0.17$ es de 0.6752. La suma de ambos determina un consumo diario de 1.0987 g de, Mg por día. La pregunta es: ¿Cuanto Mg debe de tener la dieta integral cuando se prepara?, Si suponemos que el animal consume el 3% de su peso vivo, los corderos con peso promedio de 24 kg pueden consumir en promedio 720 g/d, esto quiere decir que la dieta integral debe tener una concentración de Mg de 0.15%. Como se demuestra los valores de Mg para corderos en crecimiento resultan similares a los publicados por NRC (1985), cuyos requerimientos van de los intervalos de 0.12 a 0.18%. En realidad, es difícil formular una dieta integral que tenga menos del 0.15 % de Mg. Por lo general, las dietas elaboradas para la engorda intensiva en corral sobrepasan este valor. Con este planteamiento se podría suponer que en la mayoría de las ocasiones no será necesario suplementar con Mg.

Por otro lado el Mg es uno de los minerales que puede alcanzar efectos tóxicos en becerros a niveles mayores de 2.4% en la dieta (Chester-Jones *et al.*, 1990). Chester-Jones *et al.* (1989), evaluaron diferentes porcentajes de Mg en la dieta. Las concentraciones de 0.6 y 2.4% disminuyeron linealmente la digestibilidad aparente de MS, FDA y PC. Estos autores sugieren la concentración de 0.5% de Mg, como el límite aceptable para rumiantes con un margen de seguridad muy estrecho. Sin embargo, el NRC (1996) considera

0.4% de Mg como la concentración máxima tolerable. Por lo tanto este valor resulta incorrecto; este punto de vista se fortalece con los resultados de Zinn *et al.*, (1996). Estos autores observaron que el incremento de Mg de 0.18 a 0.32% (abajo de lo sugerido por el NRC), mejoró la ganancia de peso en 6%.

Actualmente es necesario precisar los porcentajes que se utilizan. En un futuro no muy lejano se espera que las publicaciones de la NRC y de otros países sean más detalladas, especificando las necesidades de los minerales de acuerdo a los factores como: a) la variación en la disponibilidad biológica, b) la variación del animal (especie, raza, edad, tasa de crecimiento o función zootécnica) y c) el sistema de producción. Actualmente ya se publican resultados de investigaciones al respecto.

2.1.3 Sitios de absorción del magnesio

El sitio primario de absorción de Mg es el rumen (Hurley *et al.*, 1990), a través de un proceso de transporte activo que depende de la síntesis continua de ATP, usado por la Na/K ATPasa (Martens y Blume, 1986). La concentración normal de Mg libre, encontrada en el contenido del rumen es de 2.5 - 6.0 mmol/ L (Dua y Care, 1995). La NRC (2007) menciona que el principal sitio de absorción de Mg es el intestino delgado.

La absorción de Mg en pre-rumiantes ocurre eficientemente en el intestino delgado (Martens y Rayssiguier, 1980). Este es absorbido utilizando dos sistemas de transporte, uno mediado por el transportador y saturable a bajas

concentraciones, y el otro por una difusión simple que ocurre a altas concentraciones (MacIntyre y Robinson, 1969; Shills, 1988). Cuando los pre-estómagos inician su función completa, el intestino delgado pasa a ser un buen sitio de secreción, pero también mantiene una baja absorción (Hurley *et al.*, 1990), el Mg solamente se va a absorber como ión libre.

2.1.4 Factores que modulan la absorción de magnesio

Diversos estudios metabólicos ponen de manifiesto que, en condiciones normales, el Mg se absorbe en una proporción que oscila entre el 45 y 70% (Martens y Rayssiguier, 1980). La capacidad de absorción de Mg disminuye rápidamente con la edad, pero se puede inducir con dietas bajas en energía (Dua y Care, 1995) y con altos niveles en potasio (4.6% en la dieta), el cual incrementa la excreción fecal y disminuye la absorción de Mg en 20-41% (Greene *et al.*, 1983a; Greene *et al.*, 1983b; Fontenot *et al.*, 1989). El incremento de la absorción y retención de Mg en rumiantes se puede promover con la administración de glucosa (Giduck *et al.*, 1988) y de monensina (Greene *et al.*, 1988; Grings y Males, 1988), sin presentarse diferencias con las concentraciones de Mg en suero sanguíneo (McDowell *et al.*, 1997). En estos trabajos los autores citan que el mecanismo principal está dado por los iones de Na^+ y K^+ que intervienen en Na/K ATPasa y la bomba Na/K, para facilitar o dificultar la absorción de este catión. La particularidad de los factores que afectan la absorción de Mg en retículo-rumen se resume a continuación:

Potasio: Sí la cantidad de potasio en la dieta se incrementa de 0.6 a 4.9%, causa una disminución en absorción de Mg de 25 a 39% (Greene *et al.*, 1983c; Greene *et al.*, 1986). Generalmente la concentración de potasio en el líquido ruminal pasa de cantidades de 30 a 110 mmol/ L (Dua y Care, 1995).

Sodio: Estudios in vivo e in vitro han demostrado que los cambios en la concentración de sodio en el líquido ruminal no influyen sobre la absorción de Mg (Martens *et al.*, 1987), más bien tiene un efecto indirecto. Un bajo consumo de sodio causa un incremento en la concentración de potasio en la saliva (Martens *et al.*, 1987).

Calcio: El mejor sitio de absorción de calcio en rumiantes es el intestino delgado (Yano *et al.*, 1991), pero una mínima cantidad es necesaria en el funcionamiento del epitelio del rumen para los cambios electrofisiológicos (Dua y Care, 1995). Existe una interacción de absorción entre los iones de Ca y Mg. Care *et al.* (1989), observaron en ovinos una mejor absorción neta de calcio (110 mmol L h) cuando la concentración de Mg en rumen es baja (0.45 mmol/L) a la inversa con comportamiento lineal cuando la concentración de Mg en rumen fue mayor (8 mmol/L) la absorción neta de calcio decreció (19 mmol/L h).

Fosfatos: El rumen es un órgano importante para la absorción de fosfatos (Care *et al.*, 1989). Por ejemplo si el animal presenta una concentración de fosfato en el rumen de 2 $\mu\text{mol/L}$ (dieta deficiente en fósforo) y se incrementa a 17 $\mu\text{mol/L}$

(intervalo normal) se mejora la absorción neta de Mg y Ca en el rumen (Care *et al.*, 1989).

Ácidos grasos volátiles (AGV) y pH: Los AGV proveen energía al sistema de transporte activo en la pared del rumen (Martens y Rayssiguier, 1980) e incrementan la absorción de Mg (Dua y Care, 1995). La reducción de AGV causa un incremento en el pH, lo cual disminuye el Mg soluble en el líquido ruminal (Johnson y Aubrey Jones, 1989) y la absorción de Mg (Horn y Smith, 1978). El pH entre 6.2-7.2 con una concentración de amonio en el rumen de 40 mmol⁻¹ disminuyen la absorción de Mg (Axford *et al.*, 1982).

La deficiencia crónica de Mg conduce a lesiones tróficas neuromusculares (Jonhson *et al.* 1989), degeneración de las células de Purkinje, vasculitis, alteración de la mielina, efectos en el hipocampo, calcificaciones en cerebro y disfunciones renales, gastrointestinales, neurológicas y musculares (Seelig, 1980). Las formas tetánicas de déficit de Mg crónico se complican en un tercio de los casos por isquemia valvular mitral, se han descrito alteraciones valvulares y cardiopatías en estudios experimentales Mg deficientes (Seelig, 1980).

2.1.5 Metabolismo del magnesio

El Mg absorbido es transportado a distintos tejidos. En el tejido óseo se encuentra en mayor proporción, formando los cristales de apatita en dos formas químicas. Específicamente, el hidróxido es la porción soluble y se

encuentra de un 20-30% en la superficie de los cristales, éste es fácilmente intercambiable y se modifica por los niveles séricos. Su equilibrio es debido a las influencias fisicoquímicas más que enzimáticas (Rapado *et al.*, 1975). El resto se encuentra incorporado y no es intercambiable. El Mg muscular da un índice más real de la cantidad del catión que existe en el organismo ya que es más fácilmente modificable a efectos homeostáticos.

La vía más importante de excreción es la digestiva, con variaciones según el tipo de ingesta; si la dieta es muy rica en Mg las pérdidas en heces pueden ser de hasta un 75%, mientras que con dietas pobres estas pérdidas se reducen al 30%. La tercera parte del Mg que entra en el organismo por la dieta se excreta por la orina, la cantidad excretada por esta vía es mínima cuando la ingesta es deficitaria y se estabiliza cuando los aportes son superiores a los normales (Chester-Jones *et al.*, 1989). Por todo ello, se considera que el riñón es el órgano fundamental en la homeostasis del catión. Así, una proporción de 95-97% del Mg filtrado es reabsorbida y sólo de un 3-5% es excretado. Entre un 20-30% es reabsorbido en el túbulo proximal, siendo en el tramo ascendente del asa de Henle donde se produce la mayor reabsorción, 50-60%. Específicamente, la paratohormona y calcitonina aumentan su reabsorción tubular. La hormona del crecimiento, la antidiurética y las suprarrenales aumentan la excreción urinaria (Chester-Jones *et al.*, 1990; Grace y Clark, 1991).

El Mg tiene un papel estructural y regulador en el organismo. Es un ión activador de numerosos procesos enzimáticos y es esencial para el

metabolismo de numerosos minerales. El Mg permite la estabilidad del equilibrio electroquímico de la membrana, el control de los movimientos de Na y K, P y Ca y es necesario para el almacén y liberación del neurotransmisor en el sistema nervioso central y periférico. También puede, a nivel celular, tener un efecto en las células sobre la producción de dos segundos mensajeros: AMPc y GMPc. El déficit de Mg induce a la despolarización por una reducción en la síntesis y liberación de AMPc, esta acción está reforzada por el incremento de los niveles del antagonista CMPC; la guanilatociclasa es dependiente de Ca e inhibida por el Mg (Seeling, 1980, Beede *et al.*, 1992).

Los efectos celulares directos del déficit de Mg tienden a reducir los niveles de AMPc, los efectos sistémicos tienden a inducir una liberación de catecolaminas (Günter *et al.*, 1980) que a través de β -receptores aumentan la producción de AMPc. El déficit de Mg provoca en forma secundaria la liberación de histamina e incrementa la actividad de los neurotransmisores aminérgicos. Este conjunto de cambios tienden al incremento de GMPc y disminución de AMPc dependiente de receptores catecolaminicos (Beede *et al.*, 1992).

2.1.6 Fuentes de suplementación de magnesio

El Cuadro 1 muestra las fuentes de Mg más comunes que se utilizan en la complementación nutricional con este mineral. El óxido de Mg ha sido la mejor fuente usada en la producción ganadera. Entre las mismas fuentes, la calidad nutricional de los productos varía en características químicas y físicas.

Por ejemplo existen diferencias en origen (mineral crudo u otras preparaciones químicas, las cuales han sido calcinadas o quemadas, salmueras, agua de mar, pureza química), contenido de Mg, tamaño de la partícula, palatabilidad y disponibilidad biológica y comercial (Beede *et al.*, 1992).

Cuadro 1. Fuentes de magnesio usadas en la alimentación de los animales domésticos

Fuente	% de Magnesio en el compuesto	Disponibilidad Biológica
Carbonato de Magnesio	21- 28	alta
Cloruro de Magnesio	12	alta
Óxido de Magnesio	54 -60	alta
Hidróxido de Magnesio Brucita	34	alta
Carbonato de calcio y Magnesio Dolomita	9 - 10	alta
Sulfato de Magnesio	9.8 - 17	
Sulfato de Potasio y Magnesio	11	alta

Datos adaptados de Beede *et al.*, (1992); McDowell *et al.*, (1997) y Montaña y Zinn, (1997).

2.1.7 Características fisicoquímicas del magnesio

Tamaño de la partícula: El tamaño de la partícula también afecta la disponibilidad del Mg. Wilson (1981) separó el MgO de varios orígenes (Grecia, España y China) y encontró diferentes tamaños de partícula. La disponibilidad incrementó cuando el tamaño de partícula decreció. Este investigador también usó bolsas de nylon dentro del rumen (tamaño del poro 24 μm o 43 μm) y halló una correlación positiva ($r = 0.572$, $P = 0.005$) entre disponibilidad y solubilidad después de 48 h in situ.

Reactividad: La reactividad química del MgO en varios laboratorios ha sido el método para caracterizar varias fuentes de MgO. Se encontró que la reactividad química y la solubilidad están pobremente correlacionadas con estimaciones de disponibilidad. Por ejemplo, el MgO español con una pobre tasa relativa de reactividad a 0.4 N de ácido cítrico (por 30 min) tuvo una disponibilidad superior cuando se comparó con el MgO griego, chino y la salmuera norteamericana; con altas tasas de reactividad (menores de 30 min) disminuyó la disponibilidad. Otra técnica es el intercambio de iones, no encontrando ninguna relación en la disponibilidad del Mg en los rumiantes. Estos resultados sugieren que la reactividad química de fuentes de MgO determinada en el laboratorio tiene poco uso en relación a la solubilidad y a la absorción potencial del Mg en el tracto digestivo del rumiante (Beede *et al.*, 1992).

Solubilidad: La solubilidad del Mg puede variar dependiendo de la fuente. Ciertamente la solubilidad del Mg no es igual a la disponibilidad. Por lo tanto si el Mg de una fuente de suplementación no es solubilizado en la fase líquida del tracto digestivo, no podrá absorberse (Beede *et al.*, 1992).

Beede et al. (1992) hallaron que el carbonato, cloruro, fosfatos y óxidos de Mg fueron mejor utilizados que el sulfato, citrato y silicato. Stewart y Moodie (1956), observaron que el Mg como nitrato fue más efectivo que el sulfato y acetato en vacas. El Mg en forma de magnesita fue totalmente indisponible (Chicco *et al.*, 1973).

2.2 Importancia y funciones del selenio

2.2.1 Funciones del selenio

El selenio (Se) se encuentra en aminoácidos azufrados en la porción hemo del citocromo C y en algunos ácidos aminocil nucleicos (tRNA) los que parecen participar en procesos oxidativos (O'Dea y Agar, 1990). La glutatión peroxidasa que se localiza en los eritrocitos es dependiente de Se e interviene en reacciones celulares de oxidación y reducción, catalizando reacciones que ayudan a destruir el agua oxigenada e hidroperóxidos de ácidos grasos, resultantes del metabolismo de ácidos grasos poliinsaturados (Miyazaqui, 1991). Los peróxidos se reducen por la reacción catalítica de la Gsh-Px, pero si estos se encuentran en concentraciones elevadas en la célula, oxidan a las proteínas y los lípidos alterando la función de estas moléculas (Wilson, 1981).

La Gsh-Px dependiente de Se así como la superoxidismutasa (sod), la catalasa, el ascorbato, vitamina E, β -caroteno y otros compuestos son importantes para la protección celular contra la oxidación (Jacques *et al.*,

1988). Mientras que la Gsh-Px reduce los peróxidos, la vitamina E reacciona directamente con radicales libres superóxido (O_2^-), peroxi (ROO^-), oxígeno singulete (1O_2) e hidroxilo (OH^-), dando el antioxidante liposoluble principal que protege a las membranas celulares contra la miopatía asociada con dietas ricas en ácidos grasos poliinsaturados (NRC, 1983).

La destrucción celular produce en el músculo zonas de necrosis celular y coagulación tisular con degeneración del tejido (distrofia muscular). El mecanismo de este proceso involucra la acción tripartita de AGPi, Se, y vitamina E; así como los antagonistas lípidicos: ácido linolénico, ácido linoleíco y ácido araquidónico, la GSH-Px al Se y el α -tocoferol a la vitamina E. En el proceso intervienen otros agentes químicos desencadenantes como oxígeno, peróxidos de hidrógeno, superóxidos y radicales hidroxilo, que por sí solos pueden iniciar el daño celular en lípidos y proteínas con pérdida de funciones y baja actividad catalítica. Los efectos pueden ser graves y por sí mismos pueden causar la aparición de signos clínicos (Jackson, 1987).

La glutatión peroxidasa es usada como una alternativa para medir la concentración de Se, esto se justifica debido a que esta enzima contiene Se y su actividad está altamente correlacionada con la concentración de Se en sangre, por lo tanto la medición de ésta enzima es usada para el diagnóstico de laboratorio sin presentar contaminación con elementos traza (Miller, 1974). Una baja actividad enzimática de GSH-Px es signo de deficiencia (015 ug/mL) y daño muscular con incremento de la actividad de la creatin fosfoquinasa (CPK) que resulta detectable en orina y suero. El valor normal de CPK en

terneros es 200-300 mg/día en suero, pero en la distrofia muscular nutricional se eleva hasta 1.3 g/día; en plasma, concentración de 2.5 millones de UI/L, indican presencia de daño muscular. La relación creatina-creatinina en cordero normalmente es menor de 0.7, pero en la distrofia muscular nutricional (DMN) este índice sube de 1 a 5 (Ullrey, 1992). En el caso de la creatin fosfoquinasa su incremento no necesariamente se da por la etiología de DMN, el sólo hecho de administrar selenio por vía intramuscular determina el incremento de esta enzima, lo que causa lesión y necrosis del tejido muscular (Miller, 1974).

Los mismos cuestionamientos se hacen para glutatión peroxidasa, en algunas situaciones es inadecuada su medición; si la suplementación se realiza, existe una pérdida importante en la respuesta de la enzima para cambiar la concentración de Se. Los eritrocitos no pueden sintetizar proteínas por lo tanto la glutatión peroxidasa varía de acuerdo a la cantidad de Se disponible en la eritropoyesis (Stowe y Herdt, 1992). La sobrevivencia de eritrocitos en la circulación es de 135 y 152 días en bovinos, el cambio en la concentración de Se en el animal no podrá ser inmediatamente reflejado en la glutatión peroxidasa del eritrocito (Gerloff, 1992). En los animales con deficiencia de Se el incremento de la glutatión peroxidasa ocurre de 4 a 6 meses después de la dosificación (MacPherson y Chalmers, 1984). Por otro lado, si el animal adquiere fuentes de Se orgánico (como selenometionina), el cual no es específicamente incorporado en la proteína de la glutatión peroxidasa, la concentración de la enzima no refleja el contenido de Se en el animal (Gerloff, 1992). El análisis de glutatión peroxidasa es altamente variable de laboratorio a laboratorio y además con el deterioro en el transporte de las

muestras, se dificulta la estandarización y comparación, resultando subjetiva su determinación (Stowe y Herdt, 1992).

2.2.2 Requerimientos de selenio

Los corderos y cabritos que sufren la enfermedad de músculo blanco presentan niveles de Se menores de 0.05 µg/g en sangre, suero sanguíneo y músculo y menores de 0.1 µg/g en hígado (base seca) (Shamberger, 1981). Las concentraciones de Se en el suero y el plasma reflejan los niveles de suplementación inmediata, mientras que la de sangre representan su cantidad a largo plazo (Gerloff, 1992). El Se incrementa en la sangre más lentamente con la suplementación y declina de igual manera sin suplemento (Gerloff, 1992). Otras investigaciones sugieren que las concentraciones en suero e hígado son las idóneas para la medición de la concentración de Se (Miller, 1974). En el caso de biopsias y necropsias se ha determinado que la mayor concentración del mineral se encuentra en el músculo esquelético y posteriormente en hígado y riñón (Stowe y Herdt, 1992).

Ullrey *et al.* (1977), indicó que 0.1 µg/g de Se (como selenito de sodio) pueden ser adicionado a dietas para ovinos y bovinos productores de carne sin un incremento marcado en las concentraciones de Se, cuando la dieta basal contiene niveles bajos de este elemento. La NRC (2007) calcula el

requerimiento con método factorial. En otra investigación se ha observado que el Se y la vitamina E en concentraciones mayores pueden desencadenar un efecto sinérgico en la respuesta inmune, proporcionando prevención y resistencia a enfermedades (Blodget *et al.*, 1986). La distribución del micro elemento en el organismo de los ovinos se concentra en los riñones (6.5%), hígado (4.4%), páncreas (0.46%), bazo (0.48%), tracto digestivo (10.08%), pulmón (2.63%), músculo cardíaco (0.99%), músculo esquelético (33.51%), cerebro (.46%), sangre (8.57%), hueso (7.3%), piel (7.16%), lana (17.41%) (Grace y Clark, 1991).

2.2.3 Sitios de absorción del selenio

La absorción del Se se realiza con mayor eficiencia en el duodeno y posteriormente en yeyuno e íleon (Ellison, 1992). Administrando Se como selenito por vía oral, en no rumiantes se absorben niveles del 77 al 85%, mientras que en rumiantes los niveles van del 29 al 35% (Langlands, 1991a). La variación de absorción es debida a la mayor pérdida del elemento ocasionada por los microorganismos del rumen que convierten una porción del Se en formas insolubles y otra la incorporan a las proteínas, a través de la conversión de formas insolubles como son el Se elemental y selénidos a la formación de algunos selenoaminoácidos (Hansard, 1983), resultando favorable este proceso con dietas altas en carbohidratos e involucrando en esta actividad algunas bacterias y protozoarios (NRC, 1983). Si a ovinos selenodeficientes se les administra por vía intrarruminal selenito ó selenometionina, este último compuesto incrementa su absorción de un 12 a un

13% (McMurray, 1989). Las ventajas de las sales minerales son su bajo costo y fácil administración en el alimento, sin embargo al compararlas con los compuestos en presentación inyectable tienen la desventaja de su inestabilidad para mantener la concentración sistémica del elemento, debido a su compleja absorción, representando con ello riesgos importantes de intoxicación aguda y muerte súbita, por la palatabilidad del compuesto y por una deficiencia en la homogenización de las mezclas (Tasker, 1992).

2.2.4 Factores que limitan la absorción del selenio

Los trabajos realizados en rumiantes, cerdos y humanos (Draft Toxicological Profile for Selenium, 2003) mencionan que el Se orgánico en forma de selenometionina se absorbe de manera más eficiente que el selenito de sodio, a nivel de intestino delgado. La selenometionina se absorbe debido a un gradiente de concentración, siendo diferente para selenitos y selenocisteína. Sin embargo las formas orgánicas, independientemente de su diferencia de absorción, tienen mayor rapidez y mejores tasas de absorción que las formas de Se inorgánico (Dietrich y Kyriakopoulos, 2001).

La absorción de Se en rumiantes es significativamente menor que en no rumiantes; los reportes publicados señalan que el Se suministrado por vía oral es reducido (NRC, 1983). Los microorganismos ruminales son probablemente los responsables de una baja absorción de Se ya que tienen la capacidad de reducir el Se de la dieta a formas insolubles y no biodisponibles, dando como consecuencia la eliminación del mineral por las heces. Sin embargo, los

microorganismos ruminales también tienen la capacidad de realizar lo contrario; incorporar Se a las proteínas bacterianas, aumentando así su biodisponibilidad. Los procesos antes mencionados no están claramente explicados, pero reportan que se puede aumentar o disminuir la biodisponibilidad de Se en rumiantes, modificando el porcentaje de proteína y carbohidratos en la dieta (NRC, 1980).

Otros factores que modifican la disponibilidad de Se es la interacción con otros minerales. El arsénico, azufre y cobre en concentraciones altas en dietas disminuyen la tasa de absorción y retención del Se en el organismo. El cobre, también a concentración alta en la dieta, aumenta la retención hepática de Se. De igual manera debe ser considerada las necesidades de yodo y Se para el buen funcionamiento de la glándula tiroides. La demanda de uno u otro de estos dos microminerales pueden afectar al otro, dependiendo de la actividad de enzimas de yonidasas y glutatión peroxidadas (Dietrich y Kyriakopoulos, 2001).

2.2.5 Metabolismo del selenio

Como se mencionó anteriormente, los microorganismos del rumen pueden convertir el Se inorgánico a formas orgánicas o viceversa. Las formas orgánicas se producen a través de la incorporación de Se a aminoácidos formando selenoaminoácidos como selenocisteína y selenometionina; el primer paso es la incorporación de Se a aminoácidos para formar selenometionina, posteriormente esta se transforma a selenocisteína mediante transulfuración.

La selenocisteína puede incorporarse a proteínas o puede ser transformada a selenuro con la participación de la enzima selenocisteína β -liasa. Las formas inorgánicas son selenuros o selenatos insolubles no biodisponibles por el animal (Dietrich y Kyriakopoulos, 2001).

Aún se carece de información sobre la conversión de formas inorgánicas a orgánicas y viceversa en los tejidos de los animales. Cuando se trata de la incorporación de selenato este es reducido a selenito, y a su vez puede reducirse a selenuro vía glutatión o vía serina. El selenuro es el eje en el metabolismo de Se y da origen a cuatro grupos de selenoproteínas (Sunde, 1990: Figura 1).

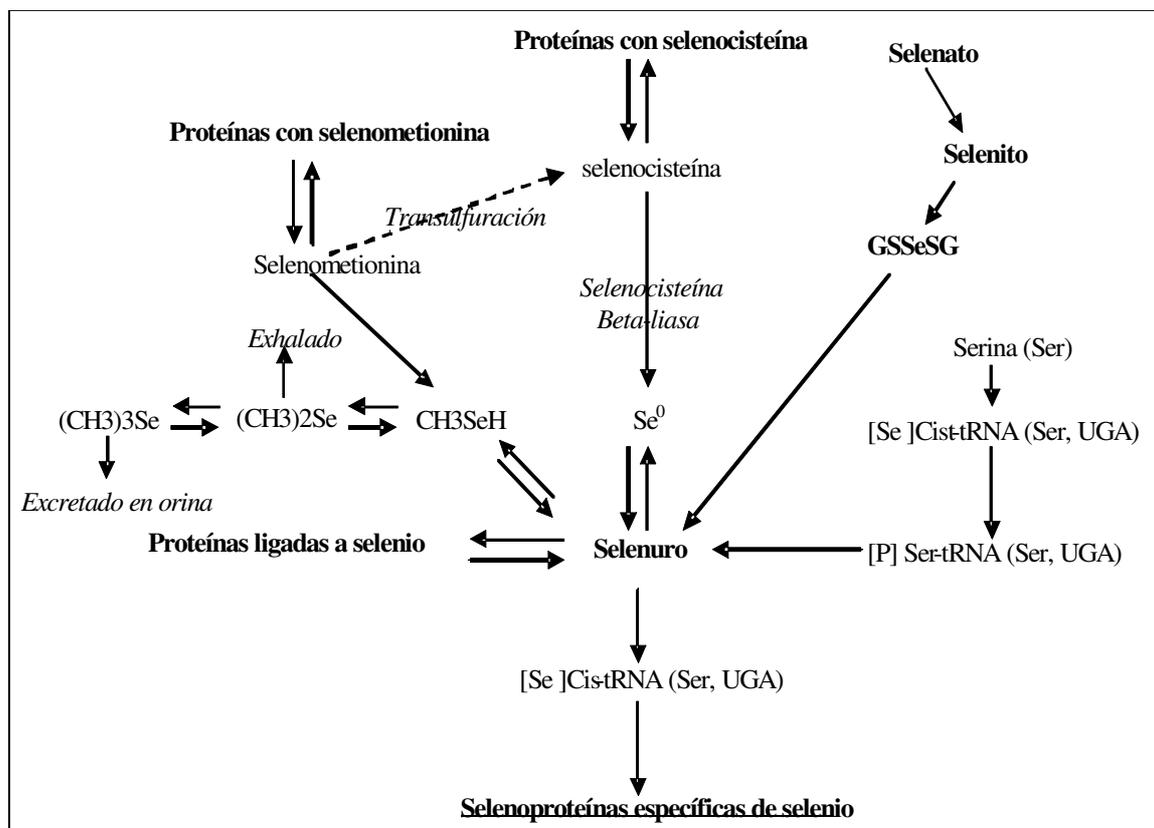


Fig. 1 Rutas metabólicas del selenio. Adaptado de Sunde (1990)

La excreción de Se ocurre por las vías urinarias, por las heces y por el aire expirado. El Se en orina es excretado como trimetilselenuro ($[(\text{CH}_3)_3\text{Se}]$); en heces es aquel que no se absorbió y se encuentra en forma insoluble, una pequeña parte de éste es endógeno y proviene de la excreción de bilis, páncreas e intestino (NRC, 1983). En el caso de humanos el sudor resulta una fuente mínima de eliminación de Se (Dietrich y Kyriakopoulos, 2001).

Actualmente se han clasificado 17 selenoproteínas y entre éstas se encuentran las glutatión peroxidasas (GSHPx) (Cuadro 2). La primer glutatión peroxidasa, estudiada es la glutatión peroxidasa clásica o celular (cGSHPx). Otras enzimas genéricas identificadas son la glutatión peroxidasa extracelular o plasmática (eGSHPx), la glutatión peroxidasa gastrointestinal (GPX-GI), y la glutatión peroxidasa fosfolípido-hidroperoxidasa (PHGPx) (Dietrich y Kyriakopoulos, 2001).

Las enzimas GSHPxs intervienen en los mecanismos antioxidantes del organismo, su función esencial es reducir la cantidad peróxidos intra y extracelular (Allen *et al*, 1975). La glutatión peroxidasa extracelular se localiza en plasma, protege a los eritrocitos de los peróxidos que dañan sus membranas. Estas enzimas requieren de Se para su función. En el caso de porcinos, la actividad enzimática más alta se observa en el tejido hepático; mientras que en rumiantes, la mayor actividad se observa en el tejido renal (Dietrich y Kyriakopoulos, 2001).

Cuadro 2. Selenoproteínas en mamíferos (Himeno e Imura, 2000)

Selenoproteínas	Funciones	Localización
Glutación peroxidasa		
Glutación peroxidasa celular (cCPx o GPX1)	Remoción de hidroperóxidos	Amplia
Glutación peroxidasa gastrointestinal (GPx-GI o GPX2)	Remoción de hidroperóxidos	Gastrointestinal
Glutación peroxidasa extracelular (eGSHPx o GPX3)	Remoción de hidroperóxidos	Plasma
Glutación peroxidasa fosfolípido hidropoxidasa (PHGPx o GPX4)	Remoción de fosfolípidos e hidroperóxidos	Amplia, testículos
5' Triyodotironina deionidasa (5'-DI)		
Tipo 1 5'-DI	Conversión de T4 a T3, T4 a rT3	Glándula tiroides, hígado riñón
Tipo 2 5'-DI	Conversión de T4 a T3	Glándula pituitaria, SNC, tejido adiposo café
Tipo 3 5'-DI	Conversión de T4 a rT3	Placenta
Tioredoxin reductasa (TrxR)		
TRxR1	Reducción de tioredoxin	Amplia (citosol)
TRxR2	Reducción de tioredoxin	Amplia
TRxR3	No se tiene información	Testículos
Selenoproteína P	Antioxidante? Acarreadora de Se ?	Plasma
Selenoproteína W	No se tiene información	Amplia, músculo
Selenofosfato sintetasa 2 (SPS2)	Síntesis de selenofosfato	Amplia
Selenoproteína 15-kDA	No se tiene información	Amplia
Se1T	No se tiene información	No se conoce
Se1R/SeX	No se tiene información	No se conoce
Se1N	No se tiene información	No se conoce

2.2.6 Fuentes de suplementación de selenio

Las diferentes presentaciones químicas de Se suplementado a los rumiantes se dividen en fuentes inorgánicas y fuentes orgánicas. Las primeras involucran al Selenito de sodio, Selenato de sodio y Selenato de bario. Las segundas son compuestos orgánicos como la selenometionina y la selenocisteína (Cuadro 3).

Cuadro 3. Fuentes de selenio utilizadas en la alimentación de los animales domésticos

Fuente	% del elemento en el compuesto	Disponibilidad Biológica
Selenito de sodio	45	Alta
Selenato de sodio	39	Media
Selenato de Bario	30	Baja

(Mc Dowell *et al.*, 1997).

Las fuentes de suplementación inorgánica son la alternativa más utilizada en la alimentación animal, y su administración es parenteral (subcutánea), oral directa (sales, pelets y cápsulas) y oral indirecta (fertilización con Se de forrajes) (Ellison, 1992). Existen ventajas y desventajas

de las vías de administración. Por ejemplo, las sales minerales incluidas en el alimento facilitan la ingestión, pero se corre el riesgo de inestabilidad para mantener la concentración del elemento en el animal por su compleja absorción. La administración por vía parenteral es más confiable para dosificar el mineral, aunque también se corre el riesgo de problemas de intoxicación severa y muerte súbita (Tasker, 1992).

2.3 La canal ovina

2.3.1 Características de la canal ovina

La canal ovina se considera el cuerpo del animal sacrificado, desangrado, desollado, eviscerado, separado de la cabeza (a nivel de la articulación occipito-atlantoidea) sin extremidades (las cuales se cortan a nivel de las articulaciones carpo-metacarpiana y tarso metatarsiana) y sin la cola, pero conservando los pilares y la porción periférica del diafragma, los testículos, los riñones, la grasa de riñonada y la cavidad pélvica. En la canal de hembras adultas, la glándula mamaria también se separa (Norma Oficial Mexicana, 2006).

En los distintos eslabones de la cadena de comercialización de la canal se presentan diversas exigencias en cuanto a la calidad. De tal manera que las características ideales que debe presentar una canal son:

- Mínima proporción de hueso para mantener las masas musculares.
-

- Masa muscular distribuida en las regiones anatómicas de mayor valor comercial.
- Tejido conjuntivo suficiente para sostener las estructuras musculares y en cantidades mínimas, para conferir a la carne una adecuada ternura y jugosidad.
- La cantidad de grasa debe ser mínima pero suficiente para una buena conservación y transportación. Asimismo, la carne debe conferir propiedades sensoriales óptimas.
- El color y la consistencia del músculo y de la grasa deben ser con las preferencias del consumidor.

En general, los parámetros que definen la calidad de la canal son principalmente el peso, la conformación, el engrasamiento, la proporción de piezas y la composición tisular. Así, algunas de estas características se utilizan para clasificar la canal y determinan su precio (Díaz-Chirón, 2001).

La clasificación de las canales ovinas se ha realizado en los distintos países para definir su calidad y agruparlas en distintas categorías. Asimismo se define como el hecho o acción de ordenar o agrupar las canales en función de una serie de criterios vigentes en el mercado de la carne, medidos objetiva y subjetivamente, elegidos y probados. De tal manera, en la Unión Europea se tiene la clasificación EUROP, que va de E significando "excelente" hasta la P de "pobre", y engrasamiento de 1 a 5 (Delfa, 1992). En México, la Norma Mexicana de productos pecuarios-carne de ovino en canal, fue publicada en el

Diario Oficial de la Federación (2006), que se explica con detalle más adelante.

2.3.2 Factores asociados a la clasificación de la canal

Peso de la Canal: Es un criterio objetivo fácilmente medible que determina el rendimiento de la canal. Asimismo condiciona la conformación, engrasamiento y el tamaño de las piezas obtenidas, ya que la industria comercializa sobre la base de precio por kilogramo (Harris, 1982). Para cada especie, sistema de producción, raza y sexo, hay un peso óptimo de sacrificio que corresponde con el peso de la canal (Colomer-Rocher y Espejo, 1973).

Sexo: Influye en el desarrollo y crecimiento de los diferentes tejidos, presentándose las mayores diferencias en el desarrollo del tejido adiposo, siendo las hembras las que presentan mayor grado de engrasamiento (Delfa, 1992).

Raza: Influye principalmente en la conformación y rendimiento de la canal. Cada raza posee un peso adulto diferente; a mayor velocidad de crecimiento, mayor el nivel de engrasamiento.

Edad cronológica o grado de madurez: Es un factor relacionado con el peso de la canal, de forma que a mayor edad del animal aumenta su peso, la deposición de grasa y el amarillamiento de ésta.

Rendimiento: El peso de la canal se relaciona con el peso vivo (en pie) al momento del sacrificio. El rendimiento en canal depende del peso de la canal, del peso vivo del animal del que procede y del peso de sus vísceras y contenido gastrointestinal.

La canal de ovinos incluye la estructura músculo-esquelética, los tejidos adiposo y conectivo que quedan después de remover la piel, sangre, cabeza, vísceras internas (excepto riñones o en ocasiones los testículos) y las extremidades terminales de los metacarpos y metatarsos. El peso de las vísceras es variable, depende del contenido de la ingesta o ayuno al momento del sacrificio, modifica el rendimiento y da diferentes apreciaciones al momento de obtener el rendimiento. Se recomienda eliminar el contenido gastrointestinal y referir el peso de la canal al peso vivo vacío. A continuación se especifican las formas de estimar el rendimiento:

- Rendimiento en la matanza, Canal Caliente = $PCC/PS \times 100$
- Rendimiento en la matanza, Canal Frío = $PCF/PS \times 100$
- Rendimiento biológico Caliente = $PCC/PVV \times 100$
- Rendimiento biológico Frío = $PCF/PVV \times 100$

Donde:

PCC = Peso canal caliente PS = Peso sacrificio

PCF = Peso canal fría PVV = Peso vivo vacío

El contenido gastrointestinal es uno de los elementos menos útiles y más variables, es recomendable eliminarlo y referir el peso de la canal al peso vivo vacío. A este resultado se le llama rendimiento verdadero o biológico, para diferenciarlo del comercial, ya sea en la canal caliente o fría. Se debe refrigerar la canal durante 24 h posteriormente se pesa. En México, la mayoría

de la información publicada sobre determinaciones de rendimiento es muy variable, lo recomendable es reportar valores del rendimiento biológico con pesos de canales refrigeradas. El Cuadro 4 resume la información en algunas razas estudiadas.

Cuadro 4. Peso vivo al sacrificio y rendimiento de la canal de razas ovinas en México

Raza	Efecto tratamiento	Peso vivo sacrificio	Peso canal caliente	Peso canal fría	Rendimiento	Observación	Autor
Suffolk x Tasset	Escroto reducido		14.40	14.11	42.61		Navarrete, 1986
	Testigo		14.25	13.96	42.67		
	Implante		14.0	13.75	44.61		
	Orquiectomia		12.50	12.24	42.37		
Suffolk			16.96		50.40		
Criollo			17.16		52.36		Salinas, 1996
			15.38		55.50		
			13.03		54.40		
			12.89		55.27		
			13.35		55.50		
Criollo			12.68		51.85		Sanguinés, 1990
			12.75		56.00		
Dorset x Criollo	Enteros	48.08	20.94	20.12	41.77	Concentrado x pradera 16% proteína	Ramírez, 1973.
	Criptorquideo	47.0	21.22	20.43	44.68		
Pelibuey	0 µg/g Cr	34.44	19.08	18.81	55.45	15.33 % P 2.33 Mcal ENm/kg 14% P 2.85 Mcal EM	Borbolla, 2004
	0.4 µg/g Cr	340.18	18.95	18.66	55.46		
	Hembras	35.5	16.6	16.1	46.9		
	Machos	36.6	15.9	15.4	44.9		
Suffolk x Pelibuey	Hembras	34.6	16.6	16.1	46.9		Gutiérrez, 2001
	Machos	36.6	15.5	15.1	43.6		

Rambouillet x Pelibuey	Hembra	34.5	16.2	15.7	45.7
	Macho	37.0	16.2	15.7	45.6

Grado de engrasamiento: Es la proporción de grasa que presentan las canales respecto a su peso. Este parámetro está relacionado con la precocidad, rusticidad de la raza y su alimentación. Está bastante estudiado que la grasa está asociada a la cantidad de carne existente en la canal (Carpenter *et al.*, 1965, NRC, 2007). El grado de engrasamiento es uno de los factores que produce mayor variación en el valor comercial de la canal y por lo tanto es el criterio de calidad más importante para su clasificación comercial (Briskey y Bray, 1964; NRC, 2007).

El grado de engrasamiento se puede determinar mediante medidas objetivas y por apreciaciones subjetivas. Entre las primeras se encuentran la medida del espesor de la grasa dorsal y la cantidad de grasa pélvica renal y entre las segundas está la valoración visual del estado de engrasamiento y la apreciación de la grasa pélvica renal.

Espesor de la grasa dorsal. La grasa de cobertura de la canal ejerce una acción protectora sobre los músculos regulando por una parte el enfriamiento de los mismos y evitando por otra parte el oscurecimiento de la carne como consecuencia de la oxidación de la mioglobina (Lawrie, 1998). El espesor de la grasa de cobertura está relacionado con la grasa total de la canal y por lo tanto con su porcentaje. Esta medida se toma en un punto situado a 4 cm de la línea

media y a 4 cm del borde posterior de la última costilla (Colomer–Rocher *et al.*, 1988).

Estado de conformación: Se define como la forma general de la canal, su grado de redondez y de compactamiento está influenciada por el tipo de alimentación y genética del animal. Existe una estrecha relación entre la conformación, el grado de desarrollo y la forma que adoptan los músculos. Por ejemplo las mejores canales conformadas a peso y engrasamiento constantes tienen una relación músculo-hueso más alta y por lo tanto mayores porcentajes de músculo en la canal. Delfa *et al.*, (1987) mencionan que la conformación mejora con el incremento de peso y el estado de engrasamiento. La clasificación de la conformación puede realizarse de forma objetiva, a través de medidas indirectas o de forma subjetiva mediante apreciación visual, siendo esta última, la más común.

Apreciación subjetiva: Se realiza por apreciación visual de la forma de las canales, tomando como referencia un patrón fotográfico. La clasificación publicada en la Norma Oficial Mexicana (2006) es la siguiente:

Excelente: Canales con músculos gruesos y amplios en comparación con la longitud de la misma; amplio llenado de las piernas y de los cuartos delanteros.

Buena: Canales con músculos moderados en comparación con la longitud de la misma; piernas y cuartos delanteros moderadamente delgados.

Deficiente: Canales con músculos delgados en comparación con la longitud de la misma; piernas y cuartos delanteros moderadamente delgados.

2.3.3 Normas de clasificación de la canal ovina. Internacionales y nacional

Los principales criterios de calidad utilizados para clasificar las canales de los animales de abasto incluye los siguientes criterios: peso de la canal, sexo de la canal, edad cronológica o grado de madurez, grado de engrasamiento, estado de conformación, color de la carne, color de la grasa y consistencia e infiltración grasa del músculo o marmoleo.

En otros países hay niveles de certificación que clasifican la calidad de la carne. En los Estados Unidos, estos niveles son: 1) Clase 1, Premium (Prime), 2) Clase 2, Selecta (Choice), y 3) Clase 3, Buena (Good). Un cuarto nivel incluye todo lo que no cumple con las primeras tres clasificaciones, su clasificación es la Clase 4, Comercial (Utility) (Honikel, 1998).

En los países con un crecimiento económico acelerado, como México, Brasil, Arabia Saudita, Rusia y China, la demanda para la carne ovina de alta calidad no es común; la poca carne ovina de alta calidad que llega a estos países es para sectores exclusivos o regiones con alta afluencia turística. Estos países están trabajando en los sistemas de clasificación, aunque su

mercado interno se rige por el precio más barato. Las costumbres en las comidas o guisos autóctonos juegan un papel importante en la demanda (Delfa, 1992).

En México, la norma de clasificación de canales ovinas, es la *Norma Mexicana PROY-NMX-FF-106-SCFI-2006, Productos Pecuarios-Carne de Ovino en Canal-Clasificación; publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 4 de julio de 2006, con declaratoria de vigencia de la NMX-FF-106-SCFI-2006. Productos Pecuarios-Carne de Ovino en Canal-Clasificación*, aunque su ejecución en los lugares de matanza todavía es muy limitada. La principal causa de esta falta de aplicación, es la falta de lugares aptos para la matanza ovina con reconocimiento Tipo Inspección Federal (TIF) y su poca difusión. Sin embargo, se espera que tenga una aceptación paulatina para poderla ejecutar en la clasificación de las canales. Los parámetros de la Norma se basan en la edad del animal, peso vivo, peso de la canal, la conformación (solo en tres grados), grasa mesentérica y grasa de cobertura. La grasa de cobertura se mide con una regla graduada sobre el espacio de la doceava costilla. Las clasificaciones en la Norma Mexicana por calidad son México extra, México Uno, México Dos y FC (fuera de clasificación). Los Cuadros 5 y 6 resumen las clasificaciones de la norma:

Cuadro 5. Especificaciones para la clasificación de canales de ovino, según la Norma Mexicana 2006

Parámetros	Cordero			Borrego	
	Lechal	Liviano	Pesado	Primal	Adulto
Peso en pie al sacrificio (kg)	hasta 12	hasta 38	más de 38	NA	NA
Peso en canal (kg)	Hasta 6	Hasta 18	más de 18	NA	NA
Grasa de Cobertura		De 1-3 mm	De 3-6 mm	de 5-10 mm	De 5-10 mm
	Perirrenal abundante	de 4-6 mm de 7-10 mm	De 7-10 mm De 11-15 mm	de 11-15 mm más 15 mm	de 11-15 mm más 15 mm
Edad	hasta 45 días	hasta dientes temporales	hasta dientes temporales	de 1 a 4 incisivos permanentes	de 5 a 8 incisivos permanentes

Cuadro 6. Clasificación de las canales de ovino con base en la relación grasa/conformación, según la Norma Mexicana 2006

CORDEROS LIVIANOS			
Grasa	CONFORMACIÓN		
	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
1-3 mm	MEX EXT	MEX 1	MEX 2
4-6 mm	MEX 1	MEX 1	MEX 2
7-10 mm	MEX 2	MEX 2	MEX 2
Mas de 10 mm	F/C	F/C	F/C
CORDEROS PESADOS			
Grasa	CONFORMACIÓN		
	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
3-6 mm	MEX EXT	MEX 1	MEX 2
7-10 mm	MEX 1	MEX 1	MEX 2
11- 15 mm	MEX 2	MEX 2	MEX 2
BORREGO PRIMAL			
Grasa	CONFORMACIÓN		
	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
5-10 mm	MEX 1	MEX 2	F/C
11-15 mm	MEX 2	MEX 2	F/C
Mas de 15 mm	F/C	F/C	F/C
BORREGO ADULTO			
Grasa	CONFORMACIÓN		
	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
5-15 mm	MEX 2	F/C	F/C
Mas de 15 mm	F/C	F/C	F/C

2.4 Características de la calidad de la carne

Las características de calidad de la carne como el pH, el color, la capacidad de retención de agua (CRA), la textura y olor entre otras no pueden considerarse independientes, ya que están todas relacionadas entre sí y su interacción proporciona las propiedades de calidad de la carne. A continuación se describen las características de cada una de ellas.

2.4.1 Color

Es el primer atributo observado por el consumidor en la carne, pues este lo asocia con su frescura, sinónimo de calidad (Issanchou, 1996). El color es una sensación subjetiva, resultado de una serie compleja de respuestas fisiológicas y psicológicas a la radiación electromagnética de longitudes de onda comprendidas en el intervalo de 400-700 nm (Pérez- Alvarez, 1996).

Desde el punto de vista físico el color de la carne se puede considerar como un fenómeno de superficie de un sólido opaco, en el cual la luz incidente sufre fenómenos de absorción, reflexión o dispersión, pero generalmente hay escasa transmisión (Hunt *et al.*, 1991). Desde el punto de vista químico, el color se puede interpretar como el efecto producido principalmente por sustancias

crómoforas (pigmentos) de origen hemo (fundamentalmente mioglobina), e isoprenoide (carotenos) que se encuentran presentes en la carne (Pérez-Alvarez, 2000), por el estado químico de la mioglobina en superficie, por la estructura y estado físico de las proteínas musculares y por la proporción de grasa de infiltración (Warris *et al.*, 1990a).

Los compuestos que proporcionan el color de la carne son:

Citocromos: Son metaloproteínas con un grupo prostético hemo. Estos compuestos están en bajas concentraciones en el músculo esquelético, encontrándose en mayores niveles en el músculo cardíaco (Rosmini, 1998).

Carotenos: Compuestos que no son sintetizados por el organismo animal, provienen de su asimilación y almacenamiento. Su influencia en el color de la carne es una de las características que más se ha estudiado. En el caso de la carne de vacuno se puede depreciar la calidad por exceso de carotenos (Rosmini, 1998).

Hemoproteínas: La hemoproteína de la carne responsable del color es la mioglobina (Mb), una proteína sarcoplásmica. Su función es la de almacenar oxígeno y facilitar su transporte a las mitocondrias. Contiene una fracción proteica, la globina, con un grupo hemo de ferroporfirina idéntico al de la hemoglobina. El grupo hemo es el responsable del intenso color rojo-pardo de

la hemoglobina y de la mioglobina. El estado de oxidación de la mioglobina varía con el tiempo y condiciones de almacenamiento, encontrándose tres pigmentos diferentes derivados del grado de oxidación:

Mioglobina reducida o desoximioglobina (Fierro ferroso, Fe^{2+}) rojo púrpura: Se encuentra en la carne donde la presión parcial de oxígeno es baja: subsiste tras la muerte por la actividad reductora del músculo (Forrest *et al.*, 1974).

Oximoglobina o mioglobina oxigenada, MbO_2 . (Fierro ferroso, Fe^{2+}): La MbO_2 en contacto con el aire oxigena al pigmento, es característica de la superficie de la carne fresca; tiene un color rojo brillante, el color deseado por el consumidor (Forrest *et al.*, 1974).

Metamioglobina o mioglobina oxidada (Fierro férrico, Fe_3^+) MetMb: Se forma por exposición prolongada de los pigmentos anteriores o la mioglobina se sujeta a presiones de oxígeno bajas (alrededor de 4 mm); es de color marrón-pardo. Cuando más del 20% del pigmento total está en forma de metamioglobina, el color marrón es irreversible; debido a los estados de oxidación del Fe (Fe^{2+} , Fe^{3+}) la molécula puede tener diferentes grados de reactividad (Forrest *et al.*, 1974).

2.4.1.1 Métodos para medir el color

Por comparación visual con un estándar físico conocido: La percepción del color puede ser subjetiva, es decir que cada individuo lo percibe de una manera distinta. Hay personas entrenadas en la evaluación objetiva del color, capaces de distinguir muchas más tonalidades de un color que los individuos no entrenados y de expresarlo en términos comparables con los emitidos por otro evaluador (Forrest *et al.*, 1974).

Por medición instrumental de las partes constituyentes del color: El sistema Hunter Lab se basa en la teoría del color de Hering, que indica que existe una escala circular en la cual se combinan los colores primarios: el rojo con el amarillo, el rojo con el azul, el verde con el amarillo o el verde con el azul. Hay dos pares de colores opuestos que pueden coexistir al mismo tiempo, rojo y verde, amarillo y azul. Los receptores del color del colorímetro Hunter Lab perciben la presencia del color rojo o verde, *coordenada a** la cual está relacionada con el contenido de mioglobina (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998), y del color amarillo o azul *coordenada b** implicada con los distintos estados de la mioglobina. A partir de los valores de a^* y b^* puede calcularse el matiz:

$$H^{(0)}_{ab} = \text{Tg}^{-1} b^*/a^*$$

la cromaticidad:

$$C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

Una tercera coordenada es la *luminosidad L** que es perpendicular a las otras dos, indica lo cercano a blanco absoluto ($L=100$) o negro absoluto ($L=0$), considerándose la más relacionada con la valoración visual del consumidor, depende de factores como pH, capacidad de retención de agua, humedad, integridad de la estructura muscular y en menor medida, del grado de

oxidación de los hemopigmentos (Palombo y Wijngaards, 1990). También debe considerarse que las lecturas hechas en carne con gran cantidad de grasa intramuscular (marmoleo) o colágeno, producen variabilidad (Ramírez-Telles, 2004).

Para la evaluación del color en carne y productos cárnicos Honikel (1997), recomienda algunos parámetros a considerar, como definir el tiempo de “oxigenación”, tiempo de exposición de la carne al aire exactamente después de cortar la muestra, que preferentemente debe ser de dos horas y como mínimo una hora a una temperatura máxima de 3°C. También es importante la fuente de luz y la medición por triplicado, habiendo calibrado el aparato empleado con estándares.

El contenido de mioglobina es intrínseco al músculo, dependiendo de los factores de producción primarios, tales como especie, raza edad, tipo de músculo y grado de nutrición. El periodo *antemorten*, el proceso de sacrificio y el manejo subsecuentes afectan al color por influencia de la caída del pH y la disminución de la temperatura. Durante el almacenamiento, el proceso de oxigenación y oxidación de la mioglobina afectan también el color (Honikel, 1998).

2.4.2 Textura

Se define como la forma en que los componentes estructurales de un material se arreglan en forma macro y microscópica; es una de las

características de calidad más apreciadas por el consumidor (Issanchou, 1996; Lawrie, 1998). Dransfield *et al.* (1984), mencionan que la textura lleva consigo dos componentes principales: blandura y jugosidad, interpretándose como el 64% y 19% respectivamente, de las diferencias entre las muestras.

La “terneza” es la cualidad de la carne para ser cortada y masticada con mayor o menor facilidad antes de la deglución, estando ligada a la resistencia mecánica del producto consumible (Koochmaraie, 1988). Una carne tierna permite apreciar otras cualidades como la jugosidad y el sabor. La terneza de la carne puede considerarse como la suma de tres componentes: facilidad de penetración de los dientes al inicio de la masticación, facilidad de fragmentación y cantidad de residuo que queda en la boca una vez concluida la masticación (Díaz-Chiron, 2001).

Existen dos fracciones proteínicas que determinan la terneza, son por una parte las proteínas del tejido conjuntivo y por otra las miofibrilares (Marsh, 1977). Las primeras están constituidas por la colágena, la elastina y la reticulina. La colágena, componente principal del tejido conjuntivo, determina la dureza de base ya que cuanto mayor es su concentración más dura es la carne, la dureza de la carne se manifiesta por una alta y persistente resistencia a la rotura en la masticación (Díaz-Chiron, 2001). La dureza aumenta con la edad del animal y muy especialmente con las propiedades de la colágena; su concentración no varía durante la fase de crecimiento del animal, pero es más insoluble a mayor peso y edad (Scönfelt y Naudé, 1994). Algunos autores

señalan que es la solubilidad del colágeno el factor más importante a considerar cuando se habla de textura (Hill, 1966).

La segunda fracción proteínica que afecta a la textura son las proteínas miofibrilares, ésta sufre transformaciones *postmortem*. Específicamente el grado de contracción del sarcómero está en función de la forma en que se desarrolla el rigor mortis. Por lo tanto, cuanto mayor es el acortamiento de los sarcómeros mayor es la dureza.

Después de la muerte del animal el proceso de transformación del músculo en carne pasa por dos fases sucesivas: en la primera se desarrolla el *rigor mortis*, que conduce a la acidificación y la pérdida de la elasticidad del tejido muscular, el cual alcanza la máxima dureza. La segunda fase, maduración o tenderización, corresponde a un aumento gradual de la terneza durante el almacenamiento *postmortem* aún cuando esta empieza a partir de la muerte del animal. En esta última fase se producen una serie de cambios estructurales y bioquímicas en la fibra muscular (Ponce, 2006). La terneza de la carne se relaciona directamente con cuatro principales factores: la degradación de la fibra muscular, el estado contráctil del músculo, la cantidad de tejido conectivo y la cantidad de grasa intramuscular o marmoleo (Barton-Gade y Christensen, 1988).

La velocidad de maduración es más rápida en los músculos blancos de contracción rápida, que en los músculos rojos de contracción lenta (Oauli, 1990). Otros autores mencionan que la velocidad de glucólisis no depende de

la composición de las fibras, sino de otros factores como el pH y el potencial proteolítico de cada músculo (Chirstensen *et al.*, 2000). Existen otros factores que influyen en la textura como el pH, la velocidad de disminución de la temperatura y fuerza iónica, entre otros. Se debe resaltar la importancia de los mecanismos físicoquímicos causantes del aumento de la presión osmótica que ocurren *postmortem*, La fuerza iónica alcanzada en la etapa *postrigor* es lo suficientemente alta para causar cambios importantes en las estructuras y para contribuir al ablandamiento de la carne. Los estudios de Smulders *et al.*, (1990) han demostrado que la textura probablemente alcanza su valor más alto si la glucólisis *postmortem* ocurre a una velocidad intermedia (esto es, a un pH de alrededor de 5.9 a las 3 horas *postmortem*) y es menor a una velocidad más lenta ó más rápida. También se encontró influencia del tamaño de las fibras y haces musculares sobre las propiedades de textura, de forma que en los músculos de mayor tamaño y los músculos de mayor velocidad de crecimiento postnatal los haces de fibras son grandes, mientras que las fibras de velocidad de crecimiento menor tienen haces musculares pequeños y mejores características de textura (Blanchard y Mantle, 1996). Sin embargo Lawrie (1998), menciona que el tamaño de los haces musculares depende del número de fibras, del diámetro de las mismas y del grosor del perimio que las envuelve, y por lo tanto presentan diferentes capacidades de contracción y de retención de agua, reaccionando de distinta forma a las temperaturas que determinan la cocción y refrigeración (Chanona *et al.*, 2006).

La textura de la carne cocida la determinan las diferencias estructurales e histológicas: la cantidad de tejido conectivo; el grado de complejidad de la

colágena y la reticulina, proteínas constituyentes del tejido conectivo; la longitud de los sarcómeros; la unidad de la fibrilla muscular en todo su conjunto; el tamaño y abundancia de los depósitos de grasa intramuscular y la actividad de enzimas proteolíticas endógenas. De los anteriores, la grasa intramuscular se considera un atributo determinante de la jugosidad de la carne (Totosaus y Guerrero, 2006).

Existen diferentes instrumentos para medir textura y todos se basan en pruebas mecánicas que miden la resistencia del alimento a la fuerza aplicada. En la carne y los productos cárnicos, la textura se mide utilizando las siguientes metodologías:

Compresión y extensión: Los compresímetros prueban la resistencia de un alimento a la compresión a fuerza constante o a deformación constante. El material no es penetrado y generalmente no se excede el punto de deformación permanente. El punzón puede ser plano o curvado, se debe cuidar que no se corte la muestra, ya que la fuerza aplicada sería de cizalla, por lo que se usan punzones más grandes que la muestra (Díaz-Chiron, 2001).

Corte ó Cizalla: Muy usados para productos cárnicos y carne, pueden ser de una o varias navajas. El principio es el de corte con navaja, es común usarlo en salchichas o muestras que pueden dar tamaños homogéneos. El esfuerzo cortante o de cizalla se define como la fuerza F por unidad de área A que actúa tangencialmente en una superficie (esfuerzo cortante = F/A). La textura es

inversamente proporcional a la fuerza de corte, medida normalmente con la cuchilla de Warner-Bratzler, aunque en este método intervienen fuerzas de tensión, corte y compresión (Totosaus y Guerrero, 2006; Díaz-Chiron, 2001).

Una muestra de carne puede ser considerada tierna o dura cuando presenta resistencia a la fuerza de corte inferior a 6 kg, determinada de 1 o 2 días *postmortem*. Así mismo, con una fuerza de corte de 6 a 9 Kg, teniendo también 1 o 2 días *postmortem*, la muestra puede ser considerada como de dureza intermedia; con una fuerza de corte superior a 9 kg, de 1 o 2 días *postmortem*, la carne es considerada dura (Shackelford, *et al.*, 1997).

Por otro lado se menciona que el único momento en que realmente se evalúa la textura de la carne, es cuando la misma es degustada por el consumidor. De esto surge la importancia de los paneles de degustación (entrenados-catadores, no entrenados, consumidores comunes) considerando a estas pruebas como métodos subjetivos (Bunch *et al.*, 2004).

Evaluación Sensorial: Es uno de los métodos comunes de estudio de las propiedades de textura, se define como el conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos por uno o más de los sentidos humanos. Los factores a considerar previamente como condicionantes de la prueba sensorial son: el objetivo general del trabajo, la amplitud de la sensación que se quiere medir, el número y características de las muestras a analizar (Bunch *et al.*, 2004). Pueden llevarse a cabo por personal adiestrados, aunque el grado de adiestramiento varía en función de la prueba que se utilice

y del objeto del análisis. Otro tipo de pruebas se realizan por personal no entrenado, como las llevadas a cabo en puntos de venta.

Las muestras deben ser representativas, uniformes en presentación apariencia y temperatura; su preparación debe estar estandarizada y codificada para no conocer su procedencia. Las muestras se presentan con todas las combinaciones posibles, usándose un número de degustadores igual o múltiplo del número de combinaciones. Las sesiones se realizan en óptimas condiciones, siendo importante disponer de un mínimo de equipamiento: sala de degustación donde los jueces estén aislados y no se comuniquen durante la prueba, evitando que la percepción visual ejerza alguna influencia se recomienda realizarla a media luz o luz coloreada. En el análisis sensorial según Díaz-Chiron (2001) debe considerar:

- Momento óptimo, varía dependiendo del tipo de muestra
- El número de análisis, una sesión al día
- Los recipientes de degustación pueden ser de vidrio y plástico
- Las muestras ser lo más homogéneas posibles
- Ocurrencia de fatiga; los ensayos de olor y sabor pueden causar adaptación y fatiga, cuando esto suceda, las pruebas deberán de interrumpirse.

Las pruebas de evaluación sensorial se clasifican como discriminatorias, descriptivas, de escala hedónica y de preferencia-aceptación. Los atributos sensoriales se agrupan en (Díaz-Chiron, 2001):

Apariencia: Se tiene implícito el color, brillo, uniformidad y forma física donde se observa la forma y textura visuales, teniendo en cuenta la forma en que se presenta el alimento a analizar.

Propiedades quinesísticas y sabor/olor: Afectan a la apreciación táctil del individuo en respuesta a estímulos provenientes del alimento, son característicos de la textura del alimento (dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad y adherencia, tamaño y forma de las partículas que constituyen el alimento y características de composición). En el sabor/olor están involucrados sentidos como el olfativo, gustativo y sensación bucal (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998).

2.4.3 pH

Es otra de las características de la carne que afecta directamente la estabilidad y propiedades de las proteínas. Dada la relación que existe entre el descenso del pH y la transformación del músculo en carne, la determinación de este parámetro constituye una buena medida para conocer el proceso de maduración y valorar la calidad de la carne como producto final del mismo (Purchas, 1990).

El pH del tejido muscular del animal vivo es cercano a la neutralidad. Cuando el animal muere se interrumpe el aporte de oxígeno y nutrientes. El músculo utiliza la vía anaerobia a partir del glucógeno de reserva, produciendo ácido láctico, descendiendo el pH hasta que se interrumpen los procesos

glucolíticos. El músculo utiliza las reservas energéticas, sufriendo cambios fisicoquímicos durante la etapa *postmortem*, atribuibles a las condiciones *antemortem* (transporte, estrés, ayuno, método de aturdimiento, y glucógeno disponible) (Gondret y Bonneau, 1998b). El descenso de pH está relacionado a su vez con el tipo de fibras predominantes y la actividad muscular antes del sacrificio. Los músculos con fibras de contracción rápida (blancas) alcanzan pH final de 5.5 mientras que en los músculos con predominancia de fibras de contracción lenta (rojas) el pH mínimo es 6.3 (Beltrán *et al.*, 1997).

Otro factor a tener en cuenta es la temperatura del músculo, ya que también modula la velocidad de la glucólisis *postmortem*, de tal manera que las temperaturas elevadas (alrededor 40°C) aceleran el descenso de pH, alcanzándose el pH final en menos tiempo (Pearson y Young, 1989).

Un pH elevado ocasiona carnes más oscuras con una mayor capacidad de retención de agua, consistencia firme, aspecto seco de la superficie y mala conservación. Estas carnes se conocen como de corte oscuro o DFD (dark, firm, dry, por sus siglas en inglés) fenómeno estudiado en el vacuno. El pH está fuera del punto isoelectrico de las proteínas y por ello abundancia de cargas libres que interactúan con el dipolo H₂O. Un pH bajo, próximo al punto isoelectrico de las proteínas (hay cargas escasas que interactúan con el agua), produce carnes más pálidas, blandas y con menor poder de retención de agua (PSE; pale, soft, exudative, por sus siglas en inglés) fenómeno estudiado en porcinos (Fisher y Ham, 1980). La carne PSE se debe a la aparición de un metabolismo glucolítico muy rápido que determina una velocidad alta de

descenso del pH y una desaparición progresiva de ATP muy rápida. Las fibras musculares muy separadas dan lugar a una estructura desordenada con un gran espacio extracelular y la luz se refleja en mayor proporción desde la superficie (Mac Dougall, 1970).

La solubilidad de las proteínas está en función del pH al estar cerca del punto isoeléctrico. Las proteínas cárnicas forman en los productos picados una matriz cohesiva, la cantidad de proteína cárnica soluble depende del tratamiento previo o manejo de los músculos: maduración *postmortem*, congelamiento, etcétera. La solubilización de las proteínas en soluciones salinas es un proceso fisicoquímico importante para la manufactura de productos cárnicos procesados. La principal ventaja de una alta solubilidad de las proteínas es que permita una dispersión alta y rápida, es decir, difusión a la interfase agua/aire o agua/aceite (Díaz-Chiron, 2001).

2.4.4 Capacidad de retención de agua (CRA)

Es un parámetro fisicoquímico fundamental en la contribución a la calidad de la carne y la de sus productos derivados; está relacionada con la terneza y color de la carne cruda, la jugosidad y firmeza de la carne cocida (Offer *et al.*, 1989).

La capacidad de retención de agua se define como la propiedad que tiene la carne para no liberar agua cuando se aplican fuerzas externas como corte, calentamiento, trituración y prensado, por lo tanto es una propiedad

necesaria durante su conservación, fileteado, cocinado y transformación (Hamm, 1960; Sañudo *et al.*, 1992a). El parámetro de calidad más afectado por la CRA es la jugosidad; esta se relaciona con la cantidad de agua en el momento del consumo, donde se distinguen dos estadios. Primero se distingue la jugosidad inicial, que produce sensación de humedad en las primeras masticaciones, debida a la liberación rápida del jugo de la carne; en segundo lugar aparece una jugosidad continuada, mantenida o sostenida, la cual está determinada por la cantidad de grasa presente. La grasa de la carne estimula la secreción salival por lo que los animales con mayor engrasamiento presentan una carne más jugosa. Esto se podría explicar por el efecto que la grasa intramuscular ejerce sobre la microestructura de la carne, permitiendo la retención de una mayor cantidad de agua. Asimismo, cuanto más tierna es la carne, se liberan más rápidamente los jugos durante la masticación y es mayor la sensación de jugosidad que se produce (Díaz-Chiron, 2001).

La CRA es causada por una inmovilización de agua de los tejidos en el sistema miofibrilar. Específicamente, el agua se encuentra atrapada en el músculo por acción capilar (Hamm, 1985), teniendo en cuenta además que las miofibrillas ocupan aproximadamente el 70% del volumen total de la masa molecular, el 20% en el sarcoplasma y el resto en el tejido conjuntivo (Offer y Trinick, 1983).

Los cambios en la CRA son un indicador muy sensible de los cambios en la estructura de las proteínas miofibrilares (Hamm, 1975; Honikel, *et al.*, 1986), por lo que la desnaturalización de las proteínas disminuye la CRA. El agua más

fácil de extraer es el agua extracelular, es la que origina las pérdidas por goteo. Si se aplica una fuerza sobre el sistema, parte del agua inmovilizada se libera como agua perdida; las mediciones de esta agua liberada son usadas como indicador de la propiedades de ligar el agua de las proteínas (Regenstein, *et al.*, 1979).

A la muerte del animal, antes del inicio del *rigor mortis*, se produce una reducción del sistema miofibrilar junto con una disminución de la CRA, debido al efecto de la disminución del pH y de la concentración del ATP. La instauración del *rigor mortis* se asocia a una reducción de la CRA por la liberación de iones divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) y la consiguiente creación de puentes que aproximan las cadenas proteicas al combinarse estos iones con los grupos reactivos negativos de las proteínas (Díaz-Chiron, 2001).

Los cambios que ocurren en la CRA durante el almacenamiento y procesamiento están determinados por la extensión por la cual el agua que no está unida fuertemente se inmoviliza en el tejido. Hay una transición continua de agua fuertemente inmovilizada en el tejido, que puede ser sacada del tejido con poca presión, más o menos agua dependiendo del método de medición usado generalmente el método de presión entre dos placas. El uso de NaCl para aumentar la CRA, puede estar en intervalos de 5 a 40% en jamones masajeados. Se usan también polifosfatos (trifosfato o tetrafosfato). Se degradan dentro de la carne donde el compuesto activo es el polifosfato. Este disminuye la cantidad de NaCl necesaria y crea las condiciones para que se unan las piezas de carne. Al masajear en presencia de NaCl o fosfato se forma

un exudado en la superficie que actúa como cementante, al aplicar calor. La CRA esta íntimamente relacionada con la textura, jugosidad y color. Un aumento de CRA se asocia con un aflojamiento de la red de gel proteico que da como resultado un aumento de jugosidad. El acortamiento de las fibras esta acompañado de una disminución de CRA (Regenstein *et al.*, 1979).

2.4.5 Emulsificación

Una emulsión es una dispersión de un líquido (fase dispersa) inmiscible en partículas en otra fase continua. Es un sistema inestable, el empleo de un emulsificante, disminuye la tensión superficial y forma una barrera física alrededor de cada gota dispersa para impedir su coalescencia (Jones, 1984).

La emulsión cárnica se da en un sistema de dos fases, consistente en una dispersión gruesa de un sólido (grasa) y un líquido (agua), en la cual el sólido no es miscible. La dispersión debe ser hecha con una cantidad dada de fuerza cortante o de corte y se necesita además de un agente emulsificante para dar estabilidad a la emulsión. En las emulsiones cárnicas la fase dispersa o discontinua es la grasa y la fase continua es agua, con varios componentes solubles, como son las proteínas, formando un sistema multifásico (Totosaus y Guerrero, 2006).

Una emulsión cárnica es más estable si la tensión interfásial es baja, pero el cloruro de sodio en las emulsiones cárnicas, incrementa la tensión superficial e interfásial del agua, resultando en un sistema termodinámicamente

inestable (Jones, 1984). En la emulsión cárnica la grasa se dispersa uniformemente en una matriz continua de proteína que se forma después del tratamiento térmico. Esta emulsión es diferente en cuanto a las propiedades fisicoquímicas de una emulsión aceite/agua, en la cual la película interfasial juega un papel mayor en la estabilización, los glóbulos de grasa siempre permanecen globulares en estado de suspensión (Jones, 1984; Totosaus y Guerrero, 2006).

En productos cárnicos emulsionados, las proteínas solubles en sales (PSS) específicamente que actúan como agente emulsificantes, están disueltas en la fase acuosa y cubren toda la superficie de las partículas de grasa. Las proteínas miofibrilares solubles tienen las propiedades funcionales más eficientes y ayudan a estabilizar la emulsión en mayor grado que las sarcoplásmicas. Las características de las proteínas de la carne, expresadas en términos de solubilidad, porcentaje de hidratación y capacidad de emulsificación, dependen de varios factores: especie, sexo, edad del animal, condiciones de sacrificio, tratamiento *post-mortem*, manejo de la carne, valor de pH y efecto de la salmuera (Terrel, 1980).

3 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país se han incrementado las engordas intensivas de corderos. El incremento mencionado se debe a las exigencias tanto de calidad de carne de ovino que demandan los transformadores y los consumidores como al alto valor económico que tienen las canales para la preparación de platillos como la barbacoa y cortes selectos. Sin embargo, existen pocos trabajos que relacionan la nutrición animal y su impacto sobre el rendimiento de la canal y la calidad de la carne.

Específicamente, existe poca información sobre la importancia de los minerales en la calidad de la canal. Una suplementación de Mg y Se a dosis mayores, de las que recomienda el NRC (1985, 2007), para la alimentación de ovinos en fases de crecimiento y desarrollo puede ser una alternativa para mejorar aspectos productivos en el animal, rendimiento en la canal y la calidad de su carne.

4 OBJETIVOS

4.1 GENERAL:

Evaluar la fisiología digestiva, el comportamiento productivo, la calidad de la canal y la carne de corderos alimentados con dietas isoenergéticas e isoproteicas, altas en grano, y que contengan o no Mg (0.32%) y Se (0.3 µg/g).

4.2 ESPECÍFICOS:

- 1) Evaluar la digestibilidad de nutrientes y la producción de ácidos grasos volátiles (AGV).
 - 2) Evaluar la ganancia diaria de peso, consumo de materia seca y conversión alimenticia.
 - 3) Evaluar las proporciones corporales, rendimientos en la canal, densidad de grasa de cobertura y rendimientos al corte.
 - 4) Evaluar parámetros que definen la calidad de la carne. Se consideran análisis físicos y químicos.
-

- 5) Realizar un análisis sensorial de la carne en dos regiones anatómicas (de alto y bajo valor comercial) tomando como muestra un panel aleatorio de población abierta.
-

5 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en tres etapas, estas fueron:

- Prueba de función digestiva.
- Prueba de comportamiento.
- Evaluación de las canales y calidad de la carne.

5.1 Prueba de función digestiva

5.1.1 Lugar de trabajo

La prueba de función digestiva se realizó en el municipio de Tetla, en el Estado de Tlaxcala. Dicha prueba se aplicó en una explotación ovina comercial, situada en el altiplano central mexicano a 2 440 metros sobre el nivel del mar, a 19° 26' latitud norte y 98° 06' longitud oeste.

5.1.2 Animales

Fueron utilizados cuatro corderos de la raza Suffolk x Criollo con un peso promedio de 30.8 ± 2.9 kg y una edad de 7 meses. La condición corporal de los corderos fue en escala de 3-4 (normal: Manazza, 2006). Posteriormente los animales fueron desparasitados contra nematodos gastroentericos, parásitos externos (200 mcg de ivermectina y 2 mg de clorsulon/kgPV) y vacunados contra *Clostridium perfringens* (Ultabac 7, Pfizer®) para la prevención de enterotoxemia. Se fabricaron cánulas de rumen y duodeno de 3 y 1.5 cm de

diámetro respectivamente (tubo Tygon-R3603, Fisher®). Las intervenciones quirúrgicas para la inserción de cánulas en rumen y duodeno se realizaron el 23 de noviembre de 2003. Los corderos fueron colocados dentro de las jaulas metabólicas, verificando su consumo de agua y alimento. El periodo de la recuperación quirúrgica fue de 10 días, y un día antes de iniciar la fase experimental se pesaron en una bascula electrónica (Torrey® modelo: EQM400-800) y se distribuyeron en los tratamientos que adelante se describen.

5.1.3 Tratamientos

Se utilizaron 4 tratamientos (Cuadro 7), categorizados en la forma siguiente:

- Tratamiento 1: dieta basal. (Se: 0.1 µg/g, Mg: 0.18%)
- Tratamiento 2: dieta basal + MgO. (Se: 0.1 µg/g, Mg: 0.32%)
- Tratamiento 3: dieta basal + Na₂SeO₃. (Se: 0.3 µg/g, Mg: 0.18%)
- Tratamiento 4: dieta basal + MgO y Na₂SeO₃. (Se: 0.3 µg/g, Mg: 0.32%)

Los animales se representan con las letras A a la D y cada periodo tuvo una duración de 14 días con 10 días de adaptación y 4 de muestreo. El diseño fue en un Cuadro Latino, distribuido de la siguiente manera:

Diseño en cuadrado latino

	T R A T A M I E N T O S			
	1	2	3	4
Periodo uno:	A	B	C	D
Periodo dos:	D	A	B	C
Periodo tres:	C	D	A	B
Periodo cuatro:	B	C	D	A

5.1.4 Consumo de alimento

Previo al experimento se calculó el consumo en base materia seca considerando el 2.5% del peso vivo promedio de los cuatro animales. El alimento se proporcionó dos veces al día (6:00 am y 6:00 pm), ajustándolo para evitar rechazos. La dieta basal fue similar y los cuatro tratamientos variaron con la concentración de los minerales. El MgO y/o Na_2SeO_3 integrado en un vehículo de cloruro de sodio se adicionaron directamente al alimento al proporcionarlo a cada animal, con el propósito de asegurar el consumo exacto de los ingredientes en cada uno de los tratamientos (Cuadro 7). El cálculo de materia seca se realizó al inicio de cada período experimental, obteniendo una muestra de varias submuestras recolectadas de las bolsas de almacenamiento del alimento.

Cuadro 7. Composición de dietas experimentales ofrecidas a corderos^a

	T1	T2	T3	T4
Fuente	0.18 % Mg + 0.1 µg Se	0.32 % Mg + 0.1 µg Se	0.18 % Mg + 0.3 µg Se	0.32 % Mg + 0.3 µg Se
Ingredientes, % (MS)				
Alfalfa, heno	6.0	6.0	6.0	6.0
Trigo, grano	34.0	33.7	33.56	33.26
Cebada, grano	30.0	30.0	30.0	30.0
Raicilla de cebada	10.0	10.0	10.0	10.0
Harina de pescado	0.5	0.5	0.5	0.5
Aceite vegetal	2.0	2.0	2.0	2.0
Melaza de caña	6.0	6.0	6.0	6.0
Rastrojo de maíz	8.0	8.0	8.0	8.0
Piedra caliza	1.5	1.5	1.5	1.5
Urea	1.0	1.0	1.0	1.0
Premezcla de minerales ^b	1.0	1.0	1.0	1.0
Oxido de magnesio		0.30		0.30
Selenito de sodio (µg/g)			0.44	0.44
Composición de Nutrientes (Base MS)				
EN _m , Mcal/kg	1.73	1.73	1.73	1.73
EN _g , Mcal/kg	1.15	1.15	1.15	1.15
Proteína, %	16.8	16.8	16.8	16.8
Calcio, %	0.70	0.70	0.70	0.70
Fósforo, %	0.34	0.34	0.34	0.34
Magnesio, %	0.18	0.32	0.18	0.32
Selenio, µg/g	0.10	0.10	0.3	0.3

^aOxido de cromo (0.4%) adicionado como marcador de la digesta.

^bLos minerales traza contienen: CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, 0.052%; y NaCl, 92.96%.

5.1.5 Muestreo de líquido ruminal y aislamiento de microorganismos

La obtención del pH en el líquido ruminal se realizó durante los 4 días de muestreo, distribuyendo las horas postprandial a las 2, 4, 6 y 8 h después de proporcionar el alimento. El procedimiento consistió en recolectar 50 mL de líquido ruminal directamente de la cánula con un tubo de plástico introducido en diferentes sitios del rumen y una jeringa de 50 mL para la succión, la muestra se depositó en un vaso de precipitado y se determinó el pH a la temperatura del líquido ruminal. Posteriormente la muestra se dividió en dos submuestras, la primera se filtró a través de una gasa, a 20 mL del contenido ruminal se le adicionaron 5 mL de ácido metafosfórico (HPO_3 : dilución 1:25). La segunda submuestra se conservó en congelación en una bolsa de plástico hasta el análisis de Se y Mg (Ramírez y Zinn 2000).

El aislamiento de microorganismos para la determinación del nitrógeno microbiano se realizó después de la última toma de muestras del tercer periodo del experimento. Se recolectaron 250 mL de líquido ruminal en cada animal, las muestras se mezclaron, filtraron en una gasa, y se diluyeron con solución salina 0.1 N. Posteriormente fueron centrifugadas a 2750 rpm a 10°C durante 10 min. El sobrenadante se separó y nuevamente se centrifugó a 13,500 rpm durante 20 min a la misma temperatura. El sedimento se colectó y depositó en una caja de Petri para su secado, a 100°C en horno con aire forzado (Bergen *et al.*, 1968).

5.1.6 Muestreo de contenido duodenal y fecal

Se recolectaron 250 mL de líquido duodenal y 80 g aproximadamente de materia fecal. Estas muestras se conservaron en congelación hasta su

procesamiento. Los líquidos recolectados de duodeno se depositaron en un recipiente refractario y se secaron por 48 h a 100 °C. Las muestras de materias fecales se pesaron (aproximadamente 100 g) y se secaron a la misma temperatura para el cálculo de la materia seca (Bergen *et al.*, 1968). Posteriormente se molieron y conservaron en frascos herméticos de 100 mL para los análisis químicos (sección 6.1.5). El ciclo de recolección de las muestras duodenales y fecales fue cada 1.5 h después de la alimentación, durante 4 días de muestreo. Las horas quedaron distribuidas de la siguiente manera:

Día 1: 8:30 y 14:30 h

Día 2: 7:00 y 13:00 h

Día 3: 5:30 y 11:30 h

Día 4: 4:00 y 10:00 h

5.2 Prueba de comportamiento productivo y características de la canal

5.2.1 Localización

La prueba se realizó en una explotación ovina comercial localizada en el estado de Tlaxcala, municipio de Tetla. Ubicado en el Altiplano central mexicano a 2 440 metros sobre el nivel del mar, a 19° 26' latitud norte y 98° 06' longitud oeste.

5.2.2 Animales y distribución de los grupos

Se utilizaron 64 corderos criollos de la raza Pelibuey de menos de 7 meses de edad. Los animales procedieron del área limítrofe entre los estados

de Tamaulipas y Veracruz, fueron alojados en un rancho comercial del estado de Tlaxcala. Posteriormente, se desparasitaron con Ivermectina (Ivomec®, Bovinos/Ovinos Laboratorio Merial México) y se vacunaron contra enfermedades por clostridios (Ultrabac7®, Schering-Plough Veterinaria, México). La adaptación a una dieta alta en granos fue durante 15 días, misma que fue utilizada en el experimento (dieta basal). Los corderos fueron pesados y a cada tratamiento se asignaron por peso, de menor peso hasta los mas pesados (con peso promedio inicial 25 kg) y de forma aleatoria en 16 corrales (4 animales/corral), con repeticiones de 4 corrales por tratamiento. Cada corral tenía una superficie de 2 m², con sombra, piso de concreto, cama de viruta, comedero y bebedero. El promedio de la temperatura ambiental mínima y máxima durante la prueba fue de 7 y 13°C respectivamente. Se evitaron las corrientes de aire y la ventilación en la explotación se considera adecuada por no haber acumulación de amoniaco que irrite los ojos y vías respiratorias de los operarios.

5.2.3 Tratamientos

Se utilizaron las mismas dietas experimentales utilizadas en la prueba de digestibilidad. Se excluyo la adición del óxido de cromo debido a que ya no era necesario el marcador para esta prueba.

5.2.4 Dietas, y variables medidas (consumo de materia seca (CMS) y ganancia diaria de peso (GDP))

Se utilizaron las mismas dietas del primer experimento (Sección 5.1.4), los tratamientos asignados fueron: 1) sin suplemento de Mg y Se, 2) con suplemento de Mg, 3) con suplemento de Se y 4) con suplemento de Mg y Se (cuadro 7). El consumo de materia seca y la ganancia diaria de peso se estimó cada 14 días, realizando pesaje de los animales y pesando el alimento consumido durante los 14 días. Las muestras de alimento se obtuvieron de forma homogénea y secadas en un horno con aire forzado a temperatura de 100°C durante 48 h. Posteriormente estas muestras se mezclaron y al final de la engorda se obtuvo una muestra representativa para el análisis de laboratorio.

El peso vivo de los animales se registró durante el tiempo de la engorda de 7 a 9 am, utilizando una báscula digital con una precisión de ± 10 g, el peso promedio se determinó con 3 lecturas estables. El consumo de materia seca (CMS) se determinó con el promedio de los animales en cada bloque por tratamiento. La conversión alimenticia se calculó entre el CMS y la GDP.

5.2.5 Sacrificio de los animales

Los animales se sacrificaron a un peso promedio de 40 kg. El procedimiento consistió en, insensibilizar cada animal con una pistola de émbolo oculto, después se desangraron con un corte en la yugular y la sangre de cada animal se recolectó en bolsas de polietileno.

5.2.6 Variables de la canal

Se separó la cabeza en la región del atlas y la vértebra cervical, las patas delanteras se separaron entre el carpo y el metacarpo, al igual que las patas traseras y la piel previamente etiquetadas para su peso. Las vísceras se identificaron con etiquetas plásticas, se pesaron con y sin el contenido gastrointestinal. Los pesos registrados fueron los siguientes: peso al sacrificio, peso vivo vacío, peso de cabeza, peso de sangre, peso de la piel, peso extremidades (patas), vísceras verdes, vísceras rojas, peso de contenido gastrointestinal, peso canal caliente, peso canal refrigerada. Se calculó el rendimiento comercial canal caliente, rendimiento comercial canal refrigerada, rendimiento biológico. Las lecturas de pesos fueron realizadas con una báscula electrónica (Torrey, México de capacidad de 100 kg), a una variación de +/- un gramo y una cinta métrica flexible. En el anexo 1 se presenta el diagrama de las variables realizadas en la canal. Las cuales son las siguientes: largo de la canal (cm); cobertura grasa (mm); perímetro del tórax (cm); largo del brazo (cm); perímetro del brazo (cm); perímetro de la grupa a (cm); perímetro de la grupa b); perímetro de la pierna (cm); largo de la pierna (cm). Los pesos registrados fueron: peso parte anterior (kg); peso del barril (kg); peso del pecho (kg); peso de las costillas (kg); peso de la costilla izquierda (kg); peso de la costilla derecha (kg); peso de la parte posterior (kg); peso del lomo (kg); peso de las piernas (kg); peso de la pierna izquierda y peso de la pierna derecha (kg).

Las canales evisceradas fueron identificadas con una pulsera numerada, posteriormente se introdujeron a una cámara frigorífica a -4°C . Después de 48h se diseccionaron y se cortaron transversalmente con una sierra. Para

obtener el cuello se hizo un corte de la 1ª a la 5ª vértebra torácica, el lomo se obtuvo con un corte desde la 1ª vértebra lumbar a la 1ª vértebra sacra, obteniendo de esta forma dos cortes por cada canal. Una vez obtenidos todos los cortes, se envasaron al alto vacío y se identificaron con el número correspondiente a cada canal.

Medición de la grasa de cobertura: La medición del espesor de la grasa de cobertura se realizó a las 24 h de refrigeración de la canal, con una regla diseñada para este fin. Se insertó perpendicularmente sobre la doceava costilla a 11cm de la línea media de la canal derecha. Anexo 2.

Porcentaje de grasa pélvica, renal y corazón (PRC). Se determinó midiendo la grasa acumulada en la cavidad del cuerpo de la canal. Los valores empleados para su clasificación fueron: 1. Deficiente, 2. Normal y 3. Exceso.

5.3 Calidad de la carne

5.3.1 Muestreo de la canal

Durante los cortes en la canal, se separaron los músculos de cuello (*braquiocefálico* y *esternocéfálico*) y lomo (*Longissimus lumborum*) (Sisson y Grossman, 1983). Las muestras fueron empacadas al vacío, se identificaron con etiquetas y conservaron en refrigeración a 4 °C, por un tiempo máximo de

tres días. Posteriormente se realizó la disección de las muestras para obtener la carne magra y se procedió al análisis de las mismas.

5.4 Métodos analíticos

5.4.1 Parámetros en la función digestiva

5.4.1.1 Materia Seca (MS)

Se pesaron 2 g de muestra en un recipiente previamente pesado (refractario limpio, desengrasado, libre de humedad) y se colocaron en un horno (Riussa, modelo HCF48), de 100 hasta 105 °C de 18 a 24 h, transcurrido el tiempo, la muestra se sacó del horno y se colocó en un desecador, para su enfriamiento a temperatura ambiente y posteriormente volver a pesar el recipiente. Los recipientes deben pesarse exactamente en una balanza analítica, usando pinzas de metal para facilitar el manejo (AOAC, 1990).

El cálculo de MS con diferencia de la humedad se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso (g)}}{\text{g de muestra}} * 100$$

$$\% \text{ de Materia Seca} = 100 - \% \text{ de Humedad.}$$

5.4.1.2 Cenizas (C)

El peso constante de los crisoles se realizó en una estufa a temperatura de 100 °C durante una hora. Posteriormente se pesaron de 2 a 5 g de muestra sobre un papel y se transfirieron al crisol. Estos se colocaron en la mufla, iniciando la elevación de temperatura poco a poco hasta llegar a los 550-600 °C, dejándolos durante 12 h. Se esperó hasta que la temperatura disminuyera en la mufla a 100°C, y los crisoles se transfirieron al desecador para ser pesados (AOAC, 1990). El cálculo de cenizas fue con la siguiente formula:

$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{(\text{Peso Crisol} + \text{muestra}) - (\text{Peso crisol} + \text{cenizas})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.4.1.3 Nitrógeno Total (N), Método Kjeldahl

Se pesaron 2 g de muestra en un papel que se dobló cuidadosamente, y se marcaron con lápiz. Como blancos, se usó el papel con el procedimiento secuencial de los reactivos. Se agregó entre 5-10 g de la mezcla catalizadora y se añadió 25 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se colocó el matraz en las parrillas del digestor y se encendió junto con el extractor de gases. La digestión se realizó en 50 min, hasta que la solución se tornó transparente o de un color verde pálido. La materia orgánica se desintegró durante la digestión. Posteriormente se enfriaron los matraces en posición con el extractor prendido hasta que llegó a la temperatura ambiente. Se adicionó 200 mL de agua

destilada y se agitó. Por otro lado en un matraz Erlenmeyer de 500 mL se le agregó 100 mL de ácido bórico, como indicador y se colocó debajo del refrigerante del destilador. Se adicionaron granallas de zinc (8-10), e inmediatamente después se agregó lentamente por las paredes del matraz en posición inclinada, 100 mL de la solución de NaOH al 40 %, se formaron dos capas y se colocaron los matraces en las parrillas de destilación y se conectaron al condensador. Se encendieron las parrillas y se destiló hasta un mínimo de 300 mL. Se retiró el matraz con el destilador y se apagaron las parrillas. Se tituló la solución destilada con la solución valorada de HCL al 0.1 N anotando la cantidad de mL usada para en el destilado para el cambio de color verde a rosado claro (AOAC, 1990).

La forma de calcular la cantidad de nitrógeno en la muestra fue la siguiente:

$$\frac{\text{ml de HCL al 0.1 N gastados} \times \text{Normalidad del ácido} \times 1.4}{\text{Peso de la muestra en g}}$$

y la proteína fue calculada = % N x 6.25

5.4.1.4 Nitrógeno amoniacal

El equipo utilizado fue una unidad de destilación Tecator 1002, microkendall. En el procedimiento se pesaron 2 g de muestras de duodeno depositándolos en tubos 1000-55. Se adicionó una cucharada de óxido de magnesio y 75 mL de agua a cada tubo. Alternamente en la salida de digestión

del microkondall se colocó el matraz Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 100 mL de ácido bórico al 2.9%, para recibir el proceso de destilación por un tiempo de 3 min. Al finalizar la destilación se retiró el matraz y fue tritado con HCL al 0.1N, hasta el cambio de color (AOAC, 1990). El cálculo de la concentración de nitrógeno amoniacal fue en base a la cantidad de HCL utilizado.

5.4.1.5 Purinas

Se pesaron 0.5 g de muestra duodenal en tubos de cultivo de 25 mL. Adicionalmente las bacterias se pesaron en 0.1, 0.2 y 0.3 g, un estándar de 0.5 g de RNA. A todas las muestras se les adicionó 2.5 mL de HClO_4 (60%) y se agitaron en el vórtex. El grupo de muestras se introdujeron en baño maría a una temperatura de 90 a 95 °C por una hora. Se retiraron y se agitaron en el vortex por 2 a 3 min para romper el pellet formado. La gradilla conteniendo los tubos de muestra se introdujo en una bandeja de agua con hielo por 5 min. Posteriormente se adicionó 17.5 mL de solución buffer de fosfato de amonio al 0.0285 M. Nuevamente se introdujeron al baño maría por 15 min y se metieron a un vibrador de ultrasonido por otros 15 min (Zinn y Owens, 1986).

Las muestras se filtraron en tubos de 3 mL utilizando papel filtro del No. 2. Una alícuota de 0.5 mL del filtrado se depositó en un tubo de centrifugación de 12 mL y adicionalmente se agregó 0.5 mL de nitrato de plata 4M y 9 mL de solución buffer de fosfato de amonio a 0.2 M. Los tubos, conteniendo las muestras fueron tapados con canicas y se dejaron reposar toda la noche. Al día siguiente se centrifugaron a 6000 rpm por 10 min a una temperatura de 5 °C y el líquido de la muestra fue retirado, cuidando de no desprenderse la película

adherida al tubo. Se adicionaron 10 mL de una solución de AgNO_3 con H_2SO_4 a pH 2 y se centrifugaron a 6000 rpm por 10 min. Nuevamente se retiró el líquido y se adicionaron 10 mL de solución 0.5 N de HCL hasta romper el pellet y se mantuvieron en baño maría por 30 min a una temperatura de 90 °C. Se aspiró la película formada en la superficie y se centrifugaron a 6000 rpm por 3 a 4 min. El espectrofotómetro (Cary 1E UV-visible) fue calibrado a un set de 260 nm (UV) y las muestras fueron leídas (Zinn y Owens, 1986).

5.4.1.6 Selenio

La concentración de selenio fue determinada en las muestras de alimento y tejido muscular. Se pesó 0.25 g de cada muestra. En el proceso de digestión, se adicionó 5 mL de ácido nítrico deslizándolos por la pared del vaso para bajar la muestra que haya quedado pegada a las paredes del vaso, para lo cual es mejor dividir dicho volumen en dos volúmenes de 2.5 mL. Se adicionó 2 mL de peróxido de hidrógeno también deslizándolo por las paredes del vaso. Todas las muestras se agitaron suavemente para lograr que la muestra estuviera homogénea. Se dejó reposar por 30 min y se agitó suavemente. Se adicionó con una micropipeta 2 mL de agua desionizada en volúmenes de 1 mL deslizándolos por la pared del vaso, con la finalidad de bajar las partículas de la muestra que se hayan adherido a la pared debido a la efervescencia del peróxido y al agitar la muestra. Posteriormente se taparon los vasos con sus tapas previamente preparadas con sus membranas, se colocaron camisas y se pusieron en las chaquetas para finalmente montarlos en el carrusel. Se activó el sensor de temperatura en el vaso control y se

encendió el horno. Se seleccionó el método de PAST-00 el cual tuvo las siguientes condiciones: Rampa de 10 min para alcanzar 200°C. Mantenimiento por 10 min a 200°C enfriamiento (5 min).

Una vez terminado el proceso de digestión, se desconectó cuidadosamente el sensor, se sacó del carrusel y se dejó enfriar en la campana extractora. Se destaparon los vasos y se transfirió el contenido a matraces de 25 mL y se aforaron con HCl 7M y se conservaron en frascos de plástico. Si el alimento contiene óxido de cromo u otro compuesto que no se solubiliza con la digestión, se filtró la muestra y el contenido de los matraces antes de transferirlos a los frascos de plástico. Finalmente se leyó la muestra en el espectrofotómetro de absorción atómica con el generador de hidruros (AOAC, 1990).

5.4.1.7 Magnesio

Las muestras de alimento y tejido muscular fueron utilizadas para la determinación de Mg. Se pesó un gramo de muestra en vasos de precipitado de 30 mL para realizar la digestión ácida. El procedimiento consistió en adicionar 10 mL de ácido nítrico y 3 mL de ácido perclórico a la muestra depositada en un matraz Erlenmeyer. El calentamiento se realizó en una parrilla electrónica y se esperó a que aparecieran humos blancos, luego se retiraron, se enfriaron y se adicionó 10 mL de ácido nítrico y se repitió el proceso de calentamiento. A las muestras retiradas de las parrillas y enfriadas, se les adicionó ácido clorhídrico 1+1 y nuevamente se pusieron en ebullición

por un tiempo de 15 min y se cubrieron con las tapas de vidrio de reloj. La muestra se transfirió en matraces de 100 mL y se aforó con agua deionizada. Los matraces se agitaron y reposaron por 24 h. Después del tiempo, los estándares se prepararon de 0.2 a 0.9 $\mu\text{g/g}$ de Mg. Se tomaron 30 μL de la muestra y se transfirieron a tubos de 4 mL, adicionando 2.97 mL de agua deionizada y se cubrieron con papel parfilm, para facilitar el mezclado en la agitación. La concentración de Mg se determinó con el espectrofotómetro de absorción atómica considerando las lecturas de absorbancia del estándar (AOAC, 1990).

5.4.1.8 Óxido de cromo

Siguiendo la metodología de Hill y Anderson (1958). Se utilizaron las muestras de cenizas para la determinación de cromo. Los reactivos utilizados fueron ácido perclórico, solución de ácido perclórico y molibdato, reactivo de molibdato (40 g de molibdato de sodio disuelto en 600 mL de agua destilada, se mezclaron y se adicionó 600 de H_2SO_4 (conc. 96-98%) en un recipiente frío y adicionando 800 mL de ácido perclórico a 70%. Las muestras de cenizas conservadas en los vasos de petri se les adicionó 15 mL de la solución molibdato, estas se cubrieron con vidrio de reloj y se pasaron a una parilla para su calentamiento, posteriormente fueron retiradas cuando el color de las muestras cambió de amarillo- verde a amarillo-naranja. Las muestras se retiraron y se transfirieron a matraces volumétricos Erlenmeyer previamente identificados. Se lavó la pared interna del matraz con agua destilada, la necesaria para hacer descender lo adherido a las paredes

5.4.1.9 Fibra Detergente Neutro (FDN) (Weizhong y Udén, 1998)

Se pesó 1 gr de muestra en vasos de precipitado de 300 mL. Se adicionó 0.5 gr de Sulfito de sodio y se mezcló perfectamente. Se adicionó 100 mL de solución para FDN diluida al 50%. Se introdujo en baño maría a 90 °C por 12 horas y se agitó por dos veces. Cuando se retiraron las muestras se adicionó 0.2 mL de enzima Alpha amilasa. Las muestras se filtraron en una línea de conducción al vacío. Se lavó la muestra con agua caliente a temperatura de 60 °C. Por diferencia se determinó la cantidad de FDN, ajustada la cantidad por el contenido de cenizas presente en las muestras.

5.4.1.10 Almidón (Zinn, 1990)

Antes del proceso se prepararon los reactivos: Solución de ZnSO₄: 150g de ZnSO₄ en un litro de agua. Solución Buffer: 9.91 g de acetato de sodio Anhidro (16.44 g de forma trihidratada) más 7.27 n-A ácido acético glacial en 1 L de agua deionizada. Solución Buffer enzimática: 0.055 mg de amyloglucosidasa por mL. En el procedimiento, se pesó 0.5 g de muestra de alimento, duodeno o material fecal. Esta previamente fue molida y cernida en una malla de 20 mm. Las muestras fueron introducidas en tubos de cultivo con tapón de baquelita. Los estándares se prepararon con almidón y dextrosa. Cada set contiene 0.09 g y 0.13g de la muestra estándar. A cada muestra se le

adicionó 10 mL de agua deionizada y se mantuvieron en baño maría por 3 hr, a una temperatura de 100 °C. La muestra se debe de estar agitando en el vortex durante 2 o 3 veces durante el periodo de incubación. Se dejó enfriar y se adicionó 10 mL de la solución buffer más una gota de tolueno en cada tubo, mezclando continuamente en el vortex. Nuevamente los tubos se incubaron a 50 °C en baño maría por 3 hr y agitaron con un vórtex cada 20 min. Después de este tiempo, se retiraron y se adicionó 2 mL de la solución de ZnSO₄ al 15%. Se agitaron y se metieron en un recipiente con hielo por 10 min. La muestra se filtró con papel filtro del No. 4. Una cantidad de 50uL se depositó en tubos de 10 mL y se adicionó 4 mL de glucotal (reactivo de a-Toloidina 6% v/v en ácido acético glacial). Las muestras por duplicado se agitaron en un vórtex y se cubrieron con canicas para incubarlas a 100 °C en baño maría por 10 min. Se retiraron los tubos y se introdujo la gradilla en hielo por 5 min. Nuevamente la gradilla de los tubos se reintrodujo en baño maría a una temperatura de 28-30 °C. Se retiraron y se realizó la lectura en el espectrofotómetro a una absorbancia de 630 nm.

5.4.1.11 Ácidos grasos volátiles (AGV), (Zinn, 1988)

Se congelaron las muestras de contenido ruminal al terminar el muestreo. Posteriormente, fueron descongeladas y centrifugadas a 2500 g durante 30 min. Se separó el sobrenadante en viales con la finalidad de evitar contaminación. 3 ul de la muestra fue inyectada al cromatografo de gases (Hewlert Packard HP 6890). El equipo se calibró con un estándar para poder

determinar la concentración de acético, propionico y butírico, de acuerdo a los tiempos de retención.

5.4.1.12 Energía

El cálculo de la energía se realizó con un calorímetro, bomba de oxígeno tipo adiabático (Calorimeter Oxygen Bomb, Adiabatic type Parr Serial 1241). En la bomba de acero inoxidable se colocó dentro de ésta el material para la ignición eléctrica. La primera muestra fue el referente de ácido benzoico y posteriormente las muestras de alimento y heces. El procedimiento fue colocar en la charola circular la muestra, conectado a un alambre fusible que hiciera contacto. Posteriormente se cerró herméticamente la tapa y se le inyectó oxígeno con una bomba a 25 atmósferas. El cilindro se introdujo a una camisa adiabática llena de agua que tiene la finalidad de mantener la temperatura del sistema igualada por medio de paso de agua caliente o fría en un baño que contiene 2000 g de agua, se sumergió junto con el agitador y un termómetro de precisión. A la bomba se le conectó el par de electrodos y se presionó encendido. La temperatura del baño empezó a aumentar dentro de los 20 segundos y se trató de mantener la misma temperatura externa. Posteriormente se reportan los sets de las temperaturas, se destapa el cilindro y se mide el gasto de los alambres fusible, sustrayendo la longitud inicial y multiplicando la diferencia por 2.3, con lo cual se obtienen las calorías liberadas por la fusión del alambre (AOAC, 1990).

5.4.1.13 Metano

Fue calculado con base al balance de fermentación teórica de la distribución molar observada de AGV y MO fermentada en el rumen (Wolin, 1960).

5.4.2 Parámetros en calidad de la carne

5.4.2.1 Color

A las muestras de carne diseccionadas se les eliminaron toda la grasa, fascias y vasos sanguíneos existentes en el músculo con el fin de evitar alteraciones al momento de realizar las mediciones. Se colocaron 10 g de carne en un vaso de precipitado de 80 mL de manera que quedara bien adherida sobre la base del recipiente, después se identificaron las muestras de acuerdo al número de la canal y de la zona de la que provenía. Para la medición del color en la carne ovina se utilizó un colorímetro Hunter Lab modelo D25-PC2 (Chroma Meter CR-200, Tokio, Japon), por el método descrito por Little (1975). Este fue calibrado con una cerámica de color blanco con las coordenadas $L=97.38$, $a=0.17$, $b=1.94$. La muestra se giró en sentido

de las manecillas del reloj 90°, realizando las lecturas por triplicado, obteniendo los valores de L, a y b.

5.4.2.2 Textura

Los músculos fueron refrigerados a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ durante tres días para su conservación. Se cortaron trozos de carne perpendiculares a la dirección de las fibras musculares, realizando cortes de un grosor de 2.5 cm. Se usó un texturómetro TA-XT2 (Textura Technologies, Nueva York, U.S.A. acoplado a software Texture Expert v1.2 (Stable Micro Systems, Ltd, Surrey, UK)). Se procedió a la calibración de las condiciones del texturómetro, empleando una navaja Warner Bratzler. Las condiciones de análisis fueron, velocidad pre-ensayo: 3.0 mm/s, velocidad ensayo: 5.0 mm/s, velocidad post ensayo: 5.0 mm/s, prueba de ruptura 1.0 a distancia 20.0 mm, tiempo 5.00 s, celda de carga de 5 Kg. Los resultados se reportaron como la fuerza máxima obtenida en el corte (Guerrero et al., 2002).

5.4.2.3 Dureza de carne cocida

Se cortaron muestras de carne magra con medidas de 2 cm³. Se cocieron hasta alcanzar una temperatura interna de 70 °C. Posteriormente un cm³ de muestra cocida se utilizó para realizar las mediciones en forma similar a

las muestras crudas. Los resultados se reportaron como la fuerza máxima obtenida en el corte.

5.4.2.4 Determinación de pH

Se determinó por el método descrito por Owen *et al.*, (1982). Diez gramos de cada muestra de carne fueron colocadas en un vaso de precipitado de 200 mL. Se adicionó 100 mL de agua destilada y se molió en una licuadora durante 1 min. El potenciómetro se estandarizó con una solución buffer de fosfato con un pH de 6.0. Se filtró la suspensión de la carne para eliminar el tejido conectivo y se procedió a realizar la lectura.

5.4.2.5 Actividad de agua (Aa)

Se atemperó la muestra aproximadamente a 18°C. Se llenaron los portamuestras del medidor de actividad de agua, hasta un máximo de 1/3 de la profundidad. Se calibró el medidor de actividad de agua con un blanco de agua y se colocaron las muestras en el espacio de medición, obteniendo la lectura cuando fue indicada por la señal sonora. Se utilizó un instrumento psicrométrico Aqualab (Decagon CX-1, Washington, EUA), con una sensibilidad de 0.001 (Guerrero *et al.*, 2002). Se reporta como:

$$a_a = P/P_o$$

P = presión de vapor de la solución

Po= presión de vapor del solvente (agua pura).

5.4.2.6 Capacidad de retención de agua (CRA)

Se realizó de acuerdo a Hamm (1975); Price y Schweigert, 1981. 10g de muestra se depositaron en el tubo de la centrífuga de 30 mL por duplicado. A cada tubo se le añadió 16 mL de solución de NaCl 0.6 M y se agitó por 1 min. Los tubos se colocaron en baño de hielo por 30 min, con agitación cada min. Se centrifugaron por 15 min a 10,000 rpm. El sobrenadante se decantó en una probeta y se midió el volumen. Los datos se reportaron como mL de NaCl 0.6 M retenidos en 100 g de carne.

5.4.2.7 Capacidad de emulsión (CE)

Se molieron 12.5 g de carne con 50 mL de solución NaCl 1M, en una licuadora por 1 min a 5 °C para formar una pasta cárnica. Se tomaron 5 g de la pasta y se adicionó 15 mL de NaCl 1 M a 5 °C. Se emulsionó mediante un bio homogenizador M433/1281-0 (2 speed). Después se procedió a la titulación con aceite vegetal hasta romper la emulsión. Se reporta como ml de aceite agregados por g de proteína (Guerrero *et al.*, 2002).

5.4.2.8 Índice peróxido

El índice de peróxidos es la cantidad (expresada en mili equivalente de oxígeno activo por kg de grasa) de peróxidos en la muestra que ocasionan la oxidación del yoduro potásico. Se realizó de acuerdo a Guerrero *et al.*, 2002 Se agregaron 5 g de tejido graso en 30 mL de una mezcla de ácido acético y cloroformo 3:2. Se agitó por media hora y se adicionó 0.5 mL de solución saturada de yoduro de potasio, dejándola reposar por 1 min. Se adicionaron 30 mL de agua destilada hervida y fría y 2 mL de almidón al 1%. Se realizó la titulación con tiosulfato de sodio 0.01 N, agitando hasta obtener un color blanco. El cálculo se realizó con la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Peróxido (IP)} = \frac{\text{mL tiosulfato} \times \text{N (0.01)} \times 1000}{\text{g muestra}}$$

. El resultado se reportó como mL de tiosulfato/g carne.

5.4.2.9 Ácidos grasos de cadena larga (Cañeque y Sañudo, 2000)

La extracción de los fosfolípidos y los proteolípidos se realizó con una mezcla de cloroformo-metanol. La carne congelada a -20 °C se descongeló, picó y molió en un mortero. Se tomó 1 g y se introdujo en tubos de ensayo de 50 mL, inmediatamente se agregaron 5 mL de mezcla cloroformo: metanol (2:1, v/v), y 2.5 ml de hidroxianisol butilado (BHA)-etanol (BHA 0.1 g x 10 ml de etanol). Los tubos se taparon con parafilm y se homogenizaron en un vortex (Super – Mixer No. 1220) durante 10 min para que se separara la grasa de la

carne. La mezcla se filtró con papel Whatman No. 1, recolectando el filtrado en tubos de ensayo de 20 mL. Enseguida se añadieron 2.5 mL de NaCl a 0.88% (1.2 g de NaCl x 100 mL de agua destilada) se agitaron nuevamente en el vortex durante 2 min y se dejaron en una gradilla durante 5 min a que la mezcla se separara en 2 fases, de las cuales se desechó la parte superior y de la mezcla inferior se tomaron 0.7 mL que se mezclaron con 0.7 mL de una segunda mezcla que se preparó con trifluoruro de boro, hexano y metanol (35:20:45), la cual tiene como función separar los lípidos a ácidos grasos metil – esterres. Posteriormente se colocaron en una microcentrífuga (Sorvall Instruments, MC-12V, No. 73000) a 5000 rpm durante 15 min. Los metil esterres obtenidos fueron analizados en un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 6890) equipado con inyector automático y detector de ionización de flama. La separación de los ácidos grasos se llevó a cabo en una columna de acero inoxidable (para ácidos grasos). El análisis se efectuó con una rampa de temperatura, al inicio se mantuvo durante 1.5 min a 140 °C y después la temperatura aumentó 1 °C/min, enseguida se aumentó a 240 °C a una velocidad de 7 °C /min. La temperatura del detector fue de 220 °C y la inicial del inyector fue de 140 °C mientras que la máxima fue de 240 °C. La velocidad del flujo del gas acarreador (N₂) fue de 10 mL/min. El tiempo de análisis para cada inyección de una muestra en el cromatógrafo fue de 25.79 min. Los esterres metílicos de los ácidos grasos fueron identificados por una mezcla de estándares de referencia de metil esterres de ácidos grasos SIGMA FAME (Sigma, St. Louis, E.U.) de ácidos mirístico (14:0), palmítico (16:0), palmitoléico (16:1), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoléico (18:2) y linolenico (18:3). A

partir de la mezcla de los estándares de ácidos grasos se determinó una curva patrón para cuantificar la concentración de los ácidos grasos de la muestra.

La determinación se hizo con un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard, HP 6890 serie GC System) con un detector de ionización de flama y columna DB-1 a condiciones isotérmicas (250°C en el horno y 300°C en el detector e inyector). Los estándares usados fueron: ácido mirístico, ácido palmítico, ácido palmitoleico, ácido esteárico, ácido oleico, ácido linoleico y ácido linolénico.

5.4.2.10 Análisis sensorial

De acuerdo a Guerrero *et al.*, 2002, las muestras se colocaron en una parrilla para asado en estufa, exponiendo la carne al fuego medio por 5 minutos por lado, repitiendo la operación algunas veces durante 15 min. Posteriormente se presentaron a los panelistas en forma de cubos de aproximadamente 1.5 cm³, para ser evaluados en una escala semiestructurada de 1 a 15 cm, Se tuvo la colaboración de 26 y 30 panelistas (muestras de lomo y cuello), seleccionados al azar entre los estudiantes y personal de la Universidad Autónoma Metropolitana. Los atributos evaluados a la carne fueron 1) calidad general, 2) jugosidad, 3) olor, 4) sabor y 6) suavidad. Se solicitó a los panelista marcaran sobre una línea horizontal ya establecida que va de cero, pésimo a 15cm (excelente). Se midió la distancia en centímetros, en la que cada panelista consideró a cada uno de los atributos a evaluar. Los valores en cada variable se reportaron en centímetros a la distancia desde el

punto cero (Guerrero, et al., 2002). La hoja de evaluación se presenta en el Anexo 3.

5.5 Diseño experimental y análisis estadístico

5.5.1 Diseños experimentales

5.5.1.1 Función digestiva

La digestibilidad fue analizada con un diseño en Cuadro latino 4 x 4. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + p_i + t_j + p_i * t_j + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variables de respuesta a la digestibilidad

μ = media poblacional

p_i = efecto del periodo

t_j = efecto del tratamiento

$p_i * t_j$ = efecto de la interacción

e_{ij} = error experimental

5.5.1.2 Comportamiento productivo y características de la canal

Se empleó un diseño de bloques totalmente al azar, con arreglo factorial 2 x 2 entre tratamientos (tratamientos: control (1), Mg (2), Se (3), Se+Mg (4)). El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + t_i * b_j + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variables de respuesta del comportamiento productivo y características de la canal

μ = media poblacional

t_i = efecto del tratamiento

b_j = efecto del bloque

$t_i * b_j$ = efecto de la interacción

e_{ij} = error experimental

5.5.1.3 Calidad de la carne

Igual que en el anterior se empleó un diseño de bloques totalmente al azar, con arreglo factorial 2 x 2 entre tratamientos. (tratamientos: control (1), Mg(2), Se(3), Se+Mg(4)). El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + t_i*b_j + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = variables de calidad de carne

μ = media poblacional

t_i = efecto del tratamiento

b_j = efecto del bloque

t_i*b_j = efecto de la interacción

e_{ijk} = error experimental

5.5.2 Análisis estadísticos

Los datos obtenidos en las tres etapas del presente estudio se sujetaron a análisis de varianza y a comparación de medias a través de contrastes (Steel y Torrie, 1980), empleando un paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1996).

6 RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Prueba de función digestiva

En el Cuadro 8 se presenta el consumo de los nutrientes proporcionados a los corderos usados en la prueba metabólica. No existieron rechazos durante los periodos experimentales. El consumo de MS en los animales fue el esperado, proporcionando las diferentes dosis orales de Mg y Se, definidos en los cuatro tratamientos.

Cuadro 8. Consumo (g/día) de nutrientes en corderos suplementados con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18 % Mg + 0.1 µg/g Se	0.32 % Mg + 0.1 µg/g Se	0.18 % Mg + 0.3 µg/g Se	0.32 % Mg + 0.3 µg/g Se
Peso de los corderos, kg	30.8	30.8	30.8	30.8
Consumo (g/día).				
Materia orgánica	643.0	641.03	645.66	645.32
Nitrógeno	15.44	16.05	15.02	15.78

Fibra detergente neutra (FDN)	177.61	176.46	175.71	164.1
Almidón	314.98	311.64	304.78	305.8
Magnesio, (mg/día)	1.22	2.45	1.22	2.45
Selenio 1×10^{-3} (mg/día)	1.02	1.02	2.11	2.11
Energía (mcal/día)	2.68	2.60	2.53	2.77

En el Cuadro 9 se presentan los resultados de los nutrientes que fluyeron hacia el duodeno. Se observó interacción de Mg x Se en el flujo de nitrógeno del alimento hacia el intestino delgado ($P < 0.05$, Anexo 4 y 5). Este efecto demuestra que la suplementación de MgO y Na₂SeO₃ mejoró el paso de nitrógeno en más de un 22%, la razón fisiológica se discute más adelante. Por otro lado, el incremento de Mg en la dieta fue similar (0.85 vs. 0.87) para dietas que contienen 0.1 y 0.3 µg/g Se. En contraste, el incremento de Se en la dieta con Na₂SeO₃ para dietas que contienen 0.18% Mg mejoró (13%) el pasaje de Mg en el intestino delgado, sin embargo este resultado no resulta novedoso ya que el Mg en su mayor parte se absorbe en rumen (Dua y Care, 1995) y el remanente de Mg que pasa los pre-estómagos puede ser absorbible en intestino delgado (NRC, 2007).

También se observó una interacción entre el nivel de Se y Mg en la dieta en el flujo de Se al intestino delgado ($P < 0.01$). La dieta suplementada con MgO y Na₂SeO₃ mejoró en un 21% el paso de Se cuando se comparó con el grupo testigo (0.76 vs 0.92 g/día), sin embargo la suplementación de MgO sin fuente de selenio disminuyó el flujo de Se en 17% (0.63 vs 0.76) cuando no se adicionó Se. Lo interesante de estos datos es que el suplemento de Se como

Na₂SeO₃ mejora el paso de Se al intestino delgado para su posible absorción. Adicionalmente Ramirez *et al.*, (1998) encontraron mayor flujo de N microbiano a duodeno cuando se suplemento MgO y propionato de laidlomocina, en bovinos. Sin embargo en este estudio no se presentaron diferencias en el flujo de MO, FDN ni N microbiano.

Cuadro 9. Valores medios del flujo de la digesta a duodeno en corderos suplementados con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18 %Mg +0.1 µg/g Se	0.32 %Mg +0.1 µg/g Se	0.18 % Mg + 0.3 µg/g Se	0.32 % Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Flujo hacia duodeno, g/día					
Materia orgánica	260.69	328.73	336.96	318.14	11.33
Fibra detergente neutra	87.56	103.16	140.53	106.32	6.03
Almidón	54.26	63.54	84.55	70.40	3.54
Nitrógeno no amoniacal	13.01	16.55	15.40	16.06	0.77
Nitrógeno microbiano	9.90	12.40	12.01	11.90	0.6
Nitrógeno del alimento ^{ab}	3.13	4.10	3.42	4.18	0.3
Mg ^c	0.61	0.85	0.69	0.87	0.05
Selenio 1 x 10 ^{-3 b}	0.76	0.63	1.08	0.92	0.08

^a Efecto Mg P<0.1

^b Interacción Mg x Se P < 0.05.

^c Interacción Mg x Se P < 0.1.

EEM: error estándar de la media.

En el Cuadro 10 se presentan los porcentajes de degradación y absorción pregástrica de MO, fibra, almidón, minerales, eficiencia de nitrógeno y eficiencia microbiana. La utilización de nitrógeno de alimento en el retículo-rumen fue menor con el suplemento de MgO y Na₂SeO₃, lógicamente esta

respuesta se esperaba debido al efecto de interacción hacia el flujo de duodeno del nitrógeno como ya se explicó (Cuadro 9). Por otro lado, los corderos que se suplementaron con MgO tendieron ($P = 0.2$) a incrementar la absorción del mineral en el rumen (64.6% vs. 46.6%), este hallazgo confirma la absorción del mineral en el compartimiento retículo-ruminal. Similarmente, la suplementación de Na_2SeO_3 (0.3 $\mu\text{g/g}$) presentó una tendencia a incrementar (31.6%) la utilización de Se ($P=0.2$), posiblemente por la incorporación de este microelemento en los microorganismos ruminales, aunque tampoco se observó diferencias en la eficiencia microbiana ruminal (g NM/kg MO verdaderamente fermentada). El trabajo realizado por Koenig *et al.* (1997) también encontraron una tendencia ($P = 0.062$) en el incremento de utilización de Se en un 27.3%, en los compartimientos pregástricos de corderos alimentados con dieta alta en concentrado. Por lo tanto, estos resultados generan dudas en la fisiología del Se en los compartimientos pre-gástricos; se sabe que los microorganismos ruminales tienen la capacidad de transformar el Se a formas solubles e insolubles (Serra *et al.*, 1994b), pero se desconoce en que cantidades y cual es la importancia de este microelemento en el metabolismo microbiano.

Cuadro 10. Porcentajes de nutrientes fermentado en rumen de corderos suplementados con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18% Mg + 0.1 $\mu\text{g/g}$ Se	0.32% Mg + 0.1 $\mu\text{g/g}$ Se	0.18% Mg + 0.3 $\mu\text{g/g}$ Se	0.32% Mg + 0.3 $\mu\text{g/g}$ Se	EEM
Digestión o absorción en rumen, % de consumo					
Materia Orgánica	74.83	68.14	66.38	69.11	1.0
Nitrógeno de alimento ^a	79.73	74.47	77.24	73.52	1.95

Fibra detergente neutro	50.70	41.53	20.02	35.20	3.6
Almidón	82.77	79.61	72.26	76.97	1.15
Mg, mg	50.01	65.07	43.28	64.11	0.03
Selenio 1×10^{-3} mg ^b	25.6	37.8	48.7	56.3	0.04
Eficiencia Microbiana	20.60	29.01	28.35	27.46	1.7
Eficiencia de nitrógeno	0.84	1.03	1.02	1.02	0.05

^a Interacción Mg x Se P< 0.05 EEM: error estándar de la media

^b Interacción Mg x Se P< 0.1

El Cuadro 11 presenta las digestibilidades en intestino de los ingredientes analizados. Los resultados demuestran un incremento (10%, P<0.05, anexos 8 y 9) en la utilización de Se con las dietas con suplemento de Na₂SeO₃. El promedio de absorción de Se en intestino entre los tratamientos fue de 36.8%. Este resultado es similar al reportado por Koenig *et al.* (1997) en corderos alimentados con dietas de forraje o concentrado. La similitud en el índice de absorción de Se en el intestino, esta estrechamente asociado al pH, el cual resulta menos influido en la absorción de Se que el pH ruminal (Zanetti y Peltinari, 1989). El Mg y Se son totalmente independientes con la absorción de los demás nutrientes reportados. Lo relevante se centra en la absorción negativa del Mg en el intestino delgado, esto quiere decir que el total de Mg ingerido por el animal fue absorbido en rumen, por lo tanto la revisión publicada por la NRC (2007), en ningún término explica los eventos fisiológicos de la absorción de Mg a nivel ruminal, esto demuestra la falta de información que tuvo el comité responsable en la publicación.

Cuadro 11. Porcentajes de digestión post-ruminal en corderos suplementados con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18% Mg + 0.1 µg/g Se	0.32 % Mg +0.1µg/g Se	0.18%Mg + 0.3 µg/g Se	0.32% Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Digestión postruminal, % del flujo al duodeno					
Materia orgánica	66.50	67.69	58.32	61.61	1.34
Nitrógeno	78.40	79.92	70.80	75.3	1.12
Almidón	84.72	84.23	84.46	81.42	0.92
Fibra detergente neutro	31.90	29.48	30.13	18.23	3.8
Mg	-0.20	-0.098	-0.15	-0.50	0.17
Se ^a	38.6	31.47	32.95	44.29	5.5

^a Efecto Se P < 0.05.

EEM: Error estándar de la media.

El Cuadro 12 (anexos 10 y 11) presenta la información sobre la digestión total de los nutrientes en los cuatro tratamientos. La digestibilidad del almidón se afectó con el suplemento de Na₂SeO₃ (P < 0.05), no existe información publicada al respecto, por tal motivo la respuesta no es clara y consistente con otros trabajos previos del grupo de investigación.

La digestión del Se en el tracto total fue de un 58 a 78% del total de Se consumido. Los trabajos reportados por Serra *et al.* (1994a) mencionan una digestibilidad del 67 a 73% con dietas que recibieron heno de Timothy. Por otro lado, Koenig *et al.* (1991) reportan una digestibilidad de Se de 3 a 11% en vacas lecheras. La absorción de Se depende de la forma química de este elemento (Koenig *et al.*, 1991) y de la composición de la dieta. Harrison y Conrad (1984b) reportan una máxima absorción de Se en vacas lecheras cuando el calcio en la dieta fue de 0.8% base seca. En este caso, el nivel de Mg en la dieta no tuvo efecto en la digestión de Se a nivel postruminal y total. Consecuentemente, la digestión preintestinal del Mg fue negativa, esto indica que la absorción de Mg ocurre en los compartimientos pregástricos,

específicamente en el rumen. Martens (1983) previamente reportó que la absorción de Mg en el rumen se da por un proceso de transporte activo, con un proceso que requiere energía.

No hubo diferencias ($P > 0.05$) en todo el tracto total sobre las digestibilidades de material orgánico, nitrógeno o energía digestible. El pH en el duodeno y las heces fueron normales y sin variación entre todos los tratamientos. En investigaciones realizadas con becerros, Ramírez y Zinn, (2000) reportaron falta de efecto en la digestión total de materia orgánica con dos niveles de Mg, pero Zinn (1988) y Zinn *et al.* (1996) indicaron que la suplementación de Mg disminuyó la digestión de materia orgánica y fibra detergente neutra en el rumen y en el tracto total. En complementación, Ramírez *et al.* (1998) indica que el nivel de Mg en la dieta incrementó la digestión total de material orgánica y nitrógeno. Estos hallazgos corroboran trabajos recientes donde se demuestra que la suplementación de Mg puede mejorar el flujo de nitrógeno postruminal hacia el intestino delgado (Ramírez *et al.*, 1998), que generalmente no afecta la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana (Ramírez *et al.*, 1998; Ramírez y Zinn, 2000). En las investigaciones de estos autores la suplementación de Mg y/o Se tienden a incrementar la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana. Por lo tanto, el incremento de eficiencia podría ser mayor debido a que la digestión de materia orgánica en el rumen fue deprimida cuando se incluyó Mg y/o Se en la dieta. Las dietas de ovinos si tienen concentraciones altas de granos enteros, pueden mejorar la utilización de nutrientes y la digestibilidad aparente de almidón en comparación con dietas con granos en pelets o molidos (97.4 vs. 96.2) (Hejazi *et al.*, 1999).

Cuadro 12. Porcentajes de digestión total y concentraciones de pH en corderos suplementados con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18%Mg + 0.1 µg/g Se	0.32%Mg + 0.1 µg/g Se	0.18% Mg + 0.3 µg/g Se	0.32% Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Digestión en tracto total, % del consumo					
Materia orgánica	86.57	83.90	78.43	81.93	0.5
Nitrógeno	81.53	79.25	70.01	75.96	0.6
Almidón ^b	97.39	96.87	95.78	96.32	0.1
Fibra detergente neutro	67.21	61.12	44.99	52.07	1.85
Mg ^{ac}	40.36	62.35	37.37	52.68	6.0
Se	63.04	58.49	69.47	77.82	2.45
Energía digestible, Mcal/día	2.24	2.10	1.9	2.18	0.007
pH de la digesta					
pH en duodeno	2.77	2.90	2.96	2.77	0.03
pH fecal	8.83	9.05	8.72	9.09	0.03

^a Efecto Mg P < 0.01.

^b Efecto Se P < 0.05.

^c Interacción Mg x Se P < 0.1.

El Cuadro 13 (anexos 12 y 13) muestra la concentración de AGV, Mg, Se y pH. Hubo una interacción entre el nivel de Mg y Se (P<0.05) sobre la

solubilidad del Mg, la proporción molar de acético y la relación molar de ácidos acético y propiónico. Con 0.3 µg/g Se, incrementó la concentración molar de butírico (4.8%, $P < 0.05$). No hubo diferencias en el pH del rumen y la proporción molar de propionato entre los tratamientos ($P > 0.1$). Los datos de este cuadro, nuevamente confirman que el Se de la dieta puede ser incorporado o transformado por los microorganismos del rumen, probablemente como Se de formas insolubles o selenoaminoácidos (selenocisteína y selenometionina). Serra *et al.* (1994a) reporta que la suplementación de Se en el líquido de rumen está en forma insoluble, indicando que el ambiente del rumen cubre la biodisponibilidad de Se. Whanger *et al.* (1978) demostraron que la selenometionina se incorpora como tal dentro de la microbiota del rumen. El Se también puede incorporarse a cisteína como selenocisteína o a formas insolubles reducidas conocidas como selenuros.

La concentración de Se incrementó la concentración molar de butírico, similarmente Naziroglu *et al.* (1997) reportaron mayor concentración de ácido butírico (14.7%) si el Se se suplementa como Na_2SeO_3 (0.3 µg/g alimento). De igual forma, otros autores han reportado que la producción de ácidos acético, propiónico, butírico y ácidos grasos totales se incrementan con la suplementación de Se (Hidiroglou y Lessard, 1976), vitamina E o Se/vitamina E (Naziroglu *et al.*, 1997). Serra *et al.* (1994b) reportaron que la tasa de suplementación de 0.2 µg/g en la dieta no tuvo una influencia significativa en las diferentes funciones de las bacterias del rumen. La relación del sistema de transporte de Mg ruminal (Na-K-ATPasa) llega a saturarse cuando la concentración de este mineral es alrededor de 30.4 mg/dL (Martens, 1983). En

esta tesis la máxima concentración observada de Mg soluble ruminal fue 17.6 mg/dL. Por lo tanto, el incremento del nivel de Mg en la dieta mejoró la absorción aparente de este mineral (38.8%) ($P < 0.05$).

Cuadro 13. Valores medios de magnesio (Mg), selenio (Se), pH y ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen de corderos suplementados con dos concentraciones de Mg y Se

	0.18% Mg + 0.1 µg/g Se	0.32% Mg + 0.1 µg/g Se	0.18% Mg + 0.3 µg/g Se	0.32% Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Mg en rumen, mg/dL ^d	10.45	17.44	10.52	17.61	0.38
Se en rumen, ng/dL	270.0	237.0	251.0	243.0	5.25
pH	6.06	6.19	6.26	6.22	0.05
AGV, mol/100 mol					
Ácido acético	67.49	65.16	68.44	66.76	0.6
Ácido propionico	18.99	22.47	18.34	19.35	0.95
Ácido butírico ^c	13.51	12.36	13.22	13.89	0.72
Ácido acético/propionico ^a	3.56	3.17	3.80	3.55	0.14
Metano	9.90	12.40	12.01	11.90	0.6

^a Interacción Mg x Se $P < .05$.

^b Interacción Mg x Se $P < .1$.

^c Efecto Se $P < .05$.

^d Efecto Mg $P < .05$.

6.2 Prueba de comportamiento productivo y respuesta de las características corporales al sacrificio

El Cuadro 14 muestra los parámetros productivos de los corderos engordados. No se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la GDP ni la conversión alimenticia (Anexo 14 y 15). Diversos estudios han demostrado

un incremento en la GDP con Na_2SeO_3 inyectado (Spears *et al.*, 1986; Castellan *et al.*, 1999) o sin respuesta, cuando se suplementó el mineral con bolos de liberación lenta (Gunter *et al.* 2003) o directamente en el alimento de bovinos (Lawler *et al.*, 2004). Las diferentes respuestas están más asociadas con las concentraciones de Se en los tejidos que con las vías de dosificación. Una deficiencia severa no se refleja en la GDP, y una deficiencia moderada o adicional puede reflejarse en la GDP y mejoría en los parámetros reproductivos (Stowe y Herdt, 1992).

El CMS presentó un efecto Se en todos los periodos del estudio, la suplementación con Na_2SeO_3 disminuyó el consumo en 10.5%. El consumo del alimento en ovinos es afectado por el PV, la edad, tipo de alimento y la densidad de energía, pero existe poca información si el Se puede modificar el consumo de alimento. En un estudio realizado por Lawler *et al.* (2004) ellos no observaron efecto sobre el consumo del alimento con selenato de sodio administrado. En referencia al Mg, el periodo de 14 a 28 días, la suplementación de MgO mejoró el consumo un 3.4%, este valor fue aislado, en trabajos previos en bovinos no se encontraron diferencias en esta variable (Ramirez *et al.*, 1998; Ramírez y Zinn, 2000).

Cuadro 14. Respuesta productiva de corderos finalizados en engorda intensiva con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18%Mg + 0.1 µg/g Se	.32%Mg + 0.1 µg/g Se	0.18% Mg + 0.3 µg/g Se	0.32% Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Repeticiones	4	4	4	4	
Peso inicial(PI), kg	24.05	24.60	23.83	24.53	2.05
GDP, kg					
día 1 a 14	0.305	0.291	0.201	0.251	0.09
día 1 a 28	0.271	0.267	0.219	0.246	0.07
día 14 a 28	0.237	0.242	0.238	0.241	0.07
día 14 a 42	0.244	0.233	0.235	0.234	0.06
día 1 a 42	0.264	0.252	0.223	0.240	0.06
CMS, kg/día					
día 1 a 14 ^a	1.14	1.08	1.02	1.01	0.05
día 1 a 28 ^a	1.19	1.18	1.06	1.08	0.04
día 14 a 28 ^{ab}	1.24	1.28	1.11	1.15	0.04
día 14 a 42 ^a	1.32	1.32	1.15	1.17	0.06
día 1 a 42 ^a	1.26	1.24	1.11	1.12	0.05
CMS/GDP					
día 1 a 14	4.52	4.27	6.06	4.62	2.4
día 1 a 28	4.53	5.11	5.21	4.55	1.5
día 14 a 28	5.58	6.43	4.96	4.94	1.9
día14 a 42	5.80	6.19	5.02	5.12	1.5
día 1 a 42	4.90	5.34	5.18	4.84	1.3

Los cálculos de las variables PI y ganancia diaria de peso (GDP) se determinaron restando el contenido de alimento (10.54%) en el tracto gastrointestinal. La conversión alimenticia se determinó entre el consumo de materia seca (CMS) y la GDP.

^a Efecto Se P < 0.001

^b Efecto Mg P < 0.05

Los Cuadros 15 y 16 presentan las proporciones corporales en el cuerpo del animal y sus rendimientos al corte. No se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$, anexos 16 y 17) a excepción del rendimiento en las canales ($P < 0.1$). El contenido gastro intestinal y los tejidos de las vísceras verdes incluyendo los omentos, hígado y tejido digestivo ocupan el 21% de capacidad en el cuerpo del animal, posteriormente la piel (8.9%), cabeza (4.45%), tejido sanguíneo (4.23%), vísceras rojas (3.1%) y extremidades (2.2%). Los rendimientos comerciales y biológico en las canales mejoraron (2.5, 3 y 5.3%; $p < 0.1$) con el suplemento de Na_2SO_3 como fuente de Se. Estas diferencias se debieron a la mayor proporción de tejido muscular (17.6%) en la región de las piernas ($P < 0.02$, Cuadro 16, anexos 18 y 19). Un trabajo realizado en bovinos con suplemento de Se, no presentó diferencia significativa en rendimiento de la canal, grado de rendimiento ni calidad de la canal (Lawler *et al.*, 2004). Sin embargo en esta investigación el rendimiento de la canal fue evidente, debido a la mayor proporción de tejido muscular en las piernas de los grupos suplementados con Se, la posible razón es que el mineral pueda estar estimulando una posible hipertrofia en las fibras tipo 1 de los músculos esqueléticos (Rannem *et al.* 1995). Es sabido que el Se tiene una actividad específica sobre enzimas, el Na_2SO_3 es convertido inicialmente a trisulfido selenoglutation, y es degradado en el hígado a la forma de selenide (Scharauzer, 2000). El selenide, finalmente se usa para la síntesis de

selenoproteínas como GSH-Px. Esta enzima integrada con Se mejora la habilidad muscular y protege en contra de la peroxidación. La disminución de la actividad del malondildehído y el aumento de la actividad de la GSH-Px en el tejido muscular incrementa la actividad celular (Zhan *et al.* 2007).

Cuadro 15. Proporciones corporales en corderos Pelibuey finalizados en engorda intensiva con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

		0.18% Mg + 0.1 µg/g Se	0.32% Mg + 0.1 µg/g Se	0.18% Mg +0.3 µg/g Se	0.32%Mg +0.3 µg/g Se	EEM
Peso al sacrificio	kg	41.43	41.83	39.1	40.88	3.2
Peso vivo vacío	kg	36.2	37.55	34.4	35.02	3.6
Cabeza	kg	1.82	1.83	1.82	1.78	0.19
	%	4.39	4.38	4.65	4.38	0.39
Sangre	kg	1.7	1.82	1.7	1.68	0.19
	%	4.11	4.35	4.34	4.12	0.42
Piel	kg	3.78	3.80	3.32	3.58	1.19
	%	9.17	9.8	8.48	8.74	0.85
Extremidades	kg	0.92	0.92	0.88	0.87	0.08
	%	2.22	2.19	2.25	2.12	0.16
Vísceras verdes	kg	4.3	3.9	3.86	4.53	1.08
	%	10.59	9.38	9.78	11.27	2.81
Vísceras rojas	kg	1.4	1.25	1.16	1.2	0.47
	%	3.35	2.99	2.95	2.94	1.10
ContenidoGTI	kg	4.8	4.28	3.7	4.43	1.06
	%	11.59	10.30	9.4	10.7	2.28
Canal caliente	kg	21.38	21.22	20.84	21.12	1.61
Peso canal refrigerada	kg	20.9	20.6	20.44	20.68	1.61
Rendimiento comercial canal caliente ^a	%	51.7	50.70	53.32	51.73	1.61
Rendimiento comercial canal refrigerada ^a	%	50.49	49.23	52.58	50.68	1.98

Rendimiento biológico ^a % 57.99 54.90 59.44 59.47 3.53

^a Efecto Se P<0.1

Cuadro 16. Valores de las características de la canal y cortes en corderos Pelibuey finalizados en engorda intensiva con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18% Mg + 0.1 µg/g Se	0.32% Mg + 0.1µg/g Se	0.18% Mg + 0.3 µg/g Se	0.32% Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Largo de la canal, cm	65.16	65.33	66.20	64.66	2.43
Cobertura grasa, mm	2.58	2.48	2.48	2.5	0.27
Peso parte anterior, kg	6.858	6.741	6.620	6.675	0.61
Peso barril, kg	4.616	4.583	4.310	4.566	0.44
Perímetro del tórax, cm	76.66	75.83	74.80	75.25	1.85
Perímetro del brazo, cm	24.41	25.42	25.0	24.83	1.81
Peso del pecho, kg	1.433	1.408	1.460	1.383	0.19
Largo del brazo, cm	48.0	47.9	46.60	48.25	1.72
Peso costillas, kg	3.300	3.209	3.0	3.030	0.51
Peso costilla izquierda, kg	1.483	1.441	1.400	1.500	0.13
Peso costilla derecha, kg	1.458	1.396	1.390	1.480	0.14
Peso parte posterior, kg	9.566	9.345	9.400	9.458	0.67
Perímetro grupa, cm	59.66	59.51	61.10	60.25	1.63
Perímetro grupa a, cm	18.91	17.96	18.80	18.25	1.20
Perímetro grupa b, cm	22.0	22.0	22.60	22.16	1.29
Peso lomo, kg	4.258	4.608	3.270	4.008	1.1
Peso piernas, kg ^a	5.084	4.803	6.09	5.538	0.76
Largo de la pierna, cm	42.0	41.83	41.60	41.16	1.60
Perímetro de la pierna, cm	32.08	31.66	30.80	31.50	2.77

^a Efecto Se P< 0.02

El Cuadro 17 presenta las concentraciones de minerales en las partes del cuello y lomo de los corderos. Las concentraciones de Se y Mg entre los tratamientos no mostraron diferencias significativas en tejido muscular ($P>0.05$), lo que se atribuye a la forma de administración en la dieta y la concentración, el nivel de $0.3 \mu\text{g/g}$ es incapaz de almacenarse en tejido muscular. Coombs y Coombs (1986) mencionan un incremento en la absorción y almacenamiento de la selenometionina vs. selenito de sodio, seguido por la incorporación de la selenometionina dentro de la proteína. Sin embargo este evento fisiológico es evidente en no rumiantes, por la falta de transformación del microelemento en el rumen. Algunos estudios realizados en rumiantes (Lawler *et al.*, 2004), demuestran un incremento de Se en tejido muscular, cuando este es administrado con alimentos naturales ricos en Se, que crecen en regiones seleníferas. Es importante mencionar que cada día se busca el mejor valor nutricional de la carne, la de ovino como otras, se deben ir mejorando en calidad nutricional, particularmente como carnes ricas en Se. Investigaciones en humanos han demostrado que el consumo diario de $200 \mu\text{g}$ de Se por día en diez años disminuye la incidencia de tumores (Clark *et al.*, 1996; Sunde, 1990). La USDA (2006) recomienda la ingestión de $55 \mu\text{gSe/día}$, con una concentración máxima tolerable de $400 \mu\text{gSe/día}$. El promedio de Se en tejido muscular de cuello o lomo en este estudio fue de $1.77 \mu\text{g/g}$, así la proporción de 100g de carne de cordero satisface el requerimiento mínimo necesario. En referencia al Mg, el requerimiento de la USDA (2006) es de 350mg/d . La concentración promedio de Mg en el tejido muscular de cuello y lomo de este estudio fue de 0.7mg/g , con la misma proporción de 100g de carne no se cubre el requerimiento mínimo necesario. Es difícil alcanzar esta

concentración con la suplementación en la dieta, ya que el comportamiento productivo del animal se afectaría, por lo tanto se deben de buscar otras fuentes o variedades de alimentos, para poder satisfacer el requerimiento necesario de Mg en las diferentes etapas de la vida humana.

Cuadro 17. Valores de selenio (Se) y magnesio (Mg) en tejido muscular de carne de corderos Pelibuey finalizados en engorda intensiva con dos concentraciones de Mg y Se en la dieta

	0.18% Mg + 0.1 µg/g Se	0.32% Mg + 0.1 µg/g Se	0.18% Mg + 0.3 µg/g Se	0.32%Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Selenio (µg/g)					
músculo cuello	1.68	1.34	2.34	1.71	0.77
músculo lomo	1.69	1.80	1.92	1.46	0.65
Magnesio (mg/g)					
músculo cuello	0.706	0.661	0.686	0.700	0.05
músculo lomo	0.766	0.725	0.748	0.748	0.05

El Cuadro 18 (anexos 22 a 25) presenta los valores de ácidos grasos. En la región de cuello, los ácidos mirístico y palmítico presentaron una interacción, la suplementación con MgO a 0.1 µg/g Se incrementó la concentración (ácido mirístico: 37% cuello $P < 0.01$ y 18.8% lomo $P > 0.1$; ácido palmítico: 8.3% $P < .05$ cuello y 6.2% lomo $P < 0.1$), posteriormente la suplementación con MgO y Na_2SO_3 disminuyó la concentración porcentual de ambos ácidos grasos (ácido mirístico: 17% cuello $P < 0.01$ y 16% lomo $P > 0.1$, ácido palmítico: 5.9% $P < 0.05$ cuello, 6.2% lomo $P < 0.1$). Esta diferencia solo fue notoria en estos ácidos grasos saturados. No existe información asociada con la concentración de los ácidos grasos en relación con la suplementación de Se o Mg, al parecer puede existir un mecanismo fisiológico que interactúen éstos minerales con la síntesis o disponibilidad de los ácidos grasos citados.

Cao *et al.* (1999) citan la regulación de Se, en relación con el metabolismo del ácido araquidonico por la vía 5-lipoxigenasa.

Cuadro 18. Valores de ácidos grasos medidos en tejido muscular de carne de corderos Pelibuey finalizados en engorda intensiva con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18% Mg + 0.1 µg/g Se	0.32% Mg + 0.1 µg/g Se	0.18%Mg +0.3 µg/g Se	0.32%Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Ácidos grasos, %					
	Músculo de. Cuello				
ácido mirístico ^a	1.96	2.27	2.38	1.98	0.29
ácido palmítico ^b	23.81	25.78	25.57	24.67	1.45
ácido palmitoleico	2.85	3.11	2.90	2.73	0.44
ácido esteárico	16.95	16.30	17.05	17.0	1.72
ácido oleico	44.88	43.16	43.23	44.09	2.04
ácido linoleíco	9.06	8.63	8.85	9.05	1.59
ácido linolenico	0.46	0.73	0	0.46	0.69
	Músculo de. Lomo				
ácido mirístico	1.75	2.08	2.31	1.94	0.33
ácido palmítico ^c	23.43	24.89	25.69	24.10	2.02
ácido palmitoleico	2.58	3.54	2.74	2.54	0.83
ácido esteárico	16.56	15.94	15.83	16.24	1.05
ácido oleico	43.02	41.76	42.55	43.17	2.73
ácido linoleíco	11.49	11.19	9.81	10.83	1.80
ácido linolenico	1.14	1.23	1.05	1.14	1.03

^a Efecto Mg x Se P < 0.01

^b Efecto Mg x Se P < 0.05

° Efecto Mg x Se P < 0.1

Las concentraciones medias de los ácidos grasos palmítico y esteárico fueron mayores entre los ácidos grasos saturados y el ácido oleico en el grupo de los insaturados, información que coincide con lo publicado por Cañequé y Sañudo, (2000).

6.3 Características físico químicas de la carne de animales con diferentes concentraciones de magnesio y selenio

6.3.1. Color

El cuadro 19 (anexos 26 a 29) muestra los valores medio de la coordenada "L" de color de cuello el cual incrementó con la suplementación de Se ($P \leq 0.05$), mientras que la coordenada "a" (índice de rojo a verde) disminuyó 16 unidades con la suplementación de Se ($P < 0.1$, anexos 10 a 13). La coordenada b (índice de amarillo-azul) no presenta diferencias significativas en ninguno de los tratamientos. Ryu *et al.* (2005) no observaron diferencias en el color de carne de pollos Broiler, cuando suplementaron Se como Na_2SO_3 hasta una concentración de 8 $\mu\text{g/g}$. En esta tesis, los promedios observados, sin diferencias significativas, para el color de cuello en las coordenadas L, a y B fueron 39.4, 9.13 y 9.38; promedios en color de lomo para las fases L, a y B fueron 36.2, 9.8 y 10.28.

6.3.2. Dureza

La dureza expresada como resistencia al corte, es uno de los parámetros que nos pueden orientar acerca de la calidad de la carne (dureza), siendo este parámetro uno de los más determinantes en el grado de aceptabilidad por parte del consumidor (Dransfield, 1994). No existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$), los promedios de dureza en carne oscilaron entre 2263 y 2540 (Cuadro 19). Se considera que el pH puede tener un efecto sobre la dureza, algunos autores (Hopkins *et al.*, 1995; Guerrero *et al.*, 2002) describen tres intervalos de pH final: normal (<5.8), intermedio (5,8-6.2) y alto (> 6.2), en los que la carne presenta distinto grado de maduración.

6.3.3 pH

El pH no mostró diferencias ($P>0.05$) entre los tratamientos, aunque su valor tiene una gran influencia sobre el color de la carne (anexo 10, 11, 12, 13). Hopkins (1995) halló una correlación significativa y de signo negativo entre los valores de L^* y b^* y el pH del músculo. Seideman *et al.* (1984) y Renerre (1986), mencionan que a medida que el pH se aleja del punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares (pH=5.5), estas presentan cargas libres, mostrando

por lo tanto el músculo una estructura abierta, que hace que la reflexión de la luz se reduzca produciéndose un oscurecimiento de la carne. Shackelford *et al.*, (1991), indica que los factores como el pH, la CRA y el veteado afectan a las propiedades ópticas de la carne y tienen influencia en el color. La CRA en los músculos de cuello incrementó ($P < 0.005$) en un 46% (40.3 vs 59).

Como se mencionó, los promedios de pH en carne oscilaron entre los valores de 5.8 y 6.06. La relación pH-dureza indica que cuando el pH es más alto da una mejor blandura (Dransfield, 1979). Mientras que Purchas (1990) indica que la dureza disminuye hasta un pH aproximadamente de 6.1 a partir de la cual vuelve a aumentar.

El pH promedio en cuello fue de 6.06 y el pH promedio en el músculo de lomo fue de 5.7; no teniendo influencia significativa, aunque el valor en cuello fue mayor. Según Lawrie (1998) serían valores de pH acordes a lo esperado para la especie ovina, que son ligeramente más elevados que los de otras especies. Resultados reportados por López (1987) en corderos lechales de raza Lacha, encontraron que el valor de pH más bajo correspondió al músculo *Longissimus dorsi* con 5.66, frente al 5.73 del músculo *Semitendinosus*. Posiblemente estas diferencias son debidas a la actividad fisiológica propia de cada músculo en particular.

Cuadro 19. Valores medios de los parámetros fisicoquímicos de carne de corderos Pelibuey finalizados en engorda intensiva con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18% Mg + 0.1 µg/g Se	0.32% Mg + 0.1 µg/g Se	0.18% Mg + 0.3 µg/g Se	0.32% Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Color músculo cuello					
luminosidad L ^b	39.27	36.54	41.16	40.78	3.26
intensidad a ^c	9.3	10.56	8.21	8.45	2.12
brillantez b	10.54	10.35	10.80	9.94	1.84
Color músculo lomo					
luminosidad L	35.0	37.75	35.94	35.96	3.26
intensidad a	9.68	9.65	10.51	9.53	1.46
brillantez b	10.41	10.39	10.39	9.95	1.51
Dureza carne cruda (g)					
músculo cuello	3015.43	2301.79	2057.4	2784.67	1208.8
músculo lomo	2529.02	2971.13	2172.86	2509.08	820.9
Dureza carne cocida (g)					
músculo cuello	2848.15	2687.19	2125.92	2615.17	1592.4
músculo lomo	1832.49	2172.86	2971.13	2075.05	1146.3
pH					
músculo cuello	6.03	6.08	6.16	6.0	0.32
músculo lomo	5.87	5.74	5.83	5.79	0.36
Capacidad retención agua (CRA)					
músculo cuello ^a	42.0	38.66	67.0	51.16	13.47
músculo lomo	39.83	40.50	46	36.66	11.49
Actividad de Agua (Aa)					
músculo cuello	0.965	0.960	0.972	0.963	0.011
músculo lomo	0.966	0.953	0.953	0.965	0.043
Capacidad de emulsión					
músculo cuello	76.1	74.2	90.4	87.9	29.7
músculo lomo	78.4	75.9	94.7	87.2	30.6
Índice de peróxido					
músculo cuello	3.38	3.31	2.78	3.6	0.77

músculo lomo	5.56	5.3	5.52	4.9	0.67
--------------	------	-----	------	-----	------

^a Efecto Se $P < .005$

^b Efecto Se $P < .05$

^c Efecto Se $P < .1$

6.3.4 Capacidad de retención de agua (CRA)

Los valores de CRA expresados en mL de NaCl 0.6 M retenido en 100 g de carne, no presentó diferencia significativa. Hamm (1985) y Offer y Knight (1988) indican que el pH final puede tener una influencia significativa en la CRA de la carne ya que determina las cargas eléctricas de las proteínas y por lo tanto la capacidad de éstas para retener el agua. En nuestro caso, se encontró diferencia significativa en CRA de cuello por un efecto Se ($P < 0.05$). La relación pH-CRA es manifiesta, aumentando la CRA cuanto mayor es el pH (Purchas, 1990). La CRA en los músculos de cuello incrementó ($P \leq 0.005$) en un 46% (40.3 vs 59) Cuadro 19.

6.3.5 Actividad de agua (Aa)

La actividad de agua no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$). El promedio en músculo de cuello y lomo fueron de 0.965 y 0.959 específicamente. La Aa de la carne cruda considerada dentro de un rango normal es de aproximadamente de 0.98-0.99 (Ranken, 2003). Los efectos minerales no afectaron la disponibilidad de agua (Cuadro 19).

6.3.6 Capacidad de emulsión (CE)

La carne es una de las principales materias primas para la elaboración de embutidos. La capacidad de emulsión de la carne de ovino indica que pudiera tener características para la elaboración de ellos. En el cuadro 19 observamos que los dos tipos de músculo analizados mostraron problemas al momento de emulsionar. No se observan diferencias significativas entre los valores de los músculos trabajados (Cuadro 19).

6.3.8 Índice de Peróxido

El índice de peróxidos de 4.3. No se encontró información sobre estos parámetros ni tampoco diferencias significativas ($P < 0.05$).

6.3.4. Análisis sensorial

El Cuadro 20 (anexos 30 a 33) presenta los resultados obtenidos en el análisis sensorial. La calidad evaluada por degustación (anexo 3) se vio afectada por los tratamientos; el sabor, la jugosidad y la suavidad del músculo de cuello incrementaron (28, 40 y 23.5%) con la suplementación de Mg. Con respecto al músculo del lomo, el olor presentó una disminución (18% $P < 0.01$) con la suplementación de Mg. La suavidad del cuello también se mejoró (23.5%, $P < 0.05$) con la suplementación de Se.

Las variaciones registradas a los diferentes atributos evaluados varían considerando el tipo de músculo, la cantidad y solubilidad de tejido conjuntivo, su distribución espacial, composición química. En la literatura no existe información relacionada entre el análisis sensorial y su asociación con

minerales. Sin embargo, todas las muestras de carne, independientemente de los tratamientos, recibieron un puntaje mayor de seis. En general las diferencias sensoriales son comunes entre las razas, la edad, sexo y dietas con diferentes concentraciones de ácidos grasos (López, 1987). Las variaciones registradas a los diferentes atributos evaluados varían considerando el tipo de músculo, la cantidad y solubilidad de tejido conjuntivo, su distribución espacial, composición química. Los resultados muestran que la carne proveniente del músculo *longissimus lumborum* resulto más tierna, de mejor sabor, más aceptable que la carne proveniente de los músculos braquiocefálico y esternocéfálico. El efecto de los diferentes músculos sobre la calidad sensorial de la carne de cordero y su efecto de los minerales probados, muestra mejor aceptación en los panelistas que la de los músculos de la región del cuello. Para trabajos posteriores se deben homogenizar los músculos para evitar estas diferencias.

Cuadro 20. Valores medios del análisis sensorial en la carne de corderos Pelibuey finalizados en engorda intensiva con dos concentraciones de magnesio (Mg) y selenio (Se)

	0.18% Mg + 0.1 µg/g Se	0.32% Mg + 0.1 µg/g Se	0.18% Mg +0.3 µg/g Se	0.32%Mg + 0.3 µg/g Se	EEM
Calidad general					
músculo cuello	5.6	6.8	6.7	7.0	3.1
músculo lomo	8.1	9.0	8.7	7.3	3.3
Sabor					
músculo cuello ^c	5.0	6.9	5.7	6.8	3.5
músculo lomo	8.2	8.7	8.0	7.2	3.5
Olor					
músculo cuello	6.3	7.6	7.7	7.4	3.6
músculo lomo ^{be}	8.3	8.1	10.0	6.9	3.1
Color					
músculo cuello	6.7	8.1	6.7	6.7	3.2
músculo lomo ^e	8.3	9.1	9.6	7.6	3.1
Jugosidad					
músculo cuello ^a	4.6	6.6	5.6	7.7	3.2
músculo lomo	8.5	8.2	6.8	8.1	3.3
Suavidad					
músculo cuello ^{cd}	5.1	6.7	6.8	8.0	3.7
músculo lomo	9.4	9.9	8.5	8.4	3.8

^a Efecto magnesio P < 0.001

^b Efecto magnesio P < 0.01

^c Efecto magnesio P < 0.05

^d Efecto selenio P < 0.05

^e Interacción magnesio x selenio P < 0.05

7 CONCLUSIONES

1. La digestibilidad total de selenio fue mayor al 60%. Por lo tanto la generalidad de que el selenio “inorgánico” es de baja disponibilidad no se fundamenta.
 2. La concentración de 0.32% de magnesio administrada con MgO mejoró la disponibilidad del mineral y se comprobó que la principal absorción se da en el retículo rumen.
 3. Los requerimientos de magnesio que reporta NRC (2007) esta subestimado y carece de una revisión confiable en la fisiología del mineral en el tracto gastrointestinal.
 4. La suplementación de selenio administrado con selenito de sodio mejoró los rendimientos comercial y biológico de la canal. Su efecto fue por el incremento de tejido muscular en la región de las piernas.
 5. La suplementación de ambos minerales mejoró la calidad sensorial de la carne de cordero.
-

8 BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Vol. 2. 15ª Edición, Washington, D.C.
- Allen, W.M., Parr, W.H. Anderson, P.H. Berrett, S. Bradley, R.Patterson, D.S.P. 1975. Selenium and the activity of glutathione peroxidase in bovine erythrocytes. *Veterinary Record* 43: 360-361.
- Axford, R.F.E., Hughes, A. y Evans, R.A. 1982. Magnesium ammonium phosphate precipitation and its significance in sheep. *Proceedings Nutrition Society* 41: 85A.
- Barton-Gade, P. and L. Christensen. 1998. Effect of different stocking densities during transport on welfare and meat quality in Danish slaughter pigs. *Meat Science* 48: 237-247.
- Beede, D. K., Davalos, G.G., y Hirschert, E.M. 1992. Comparison of four magnesium oxide sources each fed at three dietary concentrations to lactating cows. *Florida Dairy Production Conference*, pp. 29a-85a
- Beltrán, J.A., Jaime, I., Santolaria, P., Sañudo, C., Alberti, P, y Roncalés P. 1997. Effect of stress-induced high post-mortem pH on protease activity and tenderness of beef. *Meat Science*, 45:201-207.
- Bergen, W.G., Purser, D.B. y Cline, J.H. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *Journal of Animal Science*, 27: 1497-1501.
- Briskey, E.J. y Bray, R.W. 1964. A special study of the beef grade standards. *American National Cattlemen's Association*.
- Blanchard, P.J. y Mantle, D. 1996. Comparison of proteolytic enzyme levels in chicken, pig, lamb and rabbit muscle at point of slaughter: Role in meat tenderisation postmortem. *Journal Food and Agriculture* 71:83-91.
- Blodgett, D.J., Kornegay, E.T., Shurig, G.G., Meldrum, J.B. y Bonnette, E.D. 1986. Vitamin E-Selenium and immune response to selected antigens in swine. *Nutrition Reproduction International*, 38:37-43.
- Borbolla, I. J. 2004. Efecto de la complementación de metionina de cromo en la respuesta productiva y características de la canal de ovinos pelibuey en
-

- la engorda intensiva. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores, UNAM. 38 p.
- Bunch, T.D., Evans, R.C., Wang, S., Brennand, C.P., Whittier, D.R. y Taylor, B.J. 2004. Feed efficiency, growth rates, carcass evaluation, cholesterol level and sensory evaluation of lambs of various hair and wool sheep and their crosses. *Small Ruminant Research*, 52: 239-245.
- Cañeque, V. y Sañudo C. 2000. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid, España. 255 p.
- Cao H, Girard-Globa A, Berthezene F, y Moulin P. 1999. Paraoxonase protection of LDL against peroxidation is independent of its esterase activity towards paraoxon and is unaffected by the Q→R genetic. *Journal Lipid Research*, 40:133-139
- Care, A. D., Beardsworth, L.J., Beardsworth, P.M. y Breves, G. 1989. The absorption of calcium and phosphate from rumen. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 86:152.
- Carpenter, Z.L., King, G.T., y Shelton, M. 1965. Determinants of lamb carcass cutability. *Journal of Animal Science*, 24: 861.
- Castellan, D. M., Maas, J.P., Gardner, L.A., Oltjen, J.W., y Sween, M.L. 1999. Growth of suckling beef calves in response to parental administration of selenium and the effect of dietary protein provided to their dams. *Journal American Veterinary Medical Association*, 214:816–821.
- Chanona, J., Alamilla, B.L., Mendoza, M.E. y Gutierrez, L.G. 2006. Refrigeración y congelamiento. En *Ciencia y tecnología de carnes*. Ed. Hui, Y.H., Guerrero, I y Rosmini, M. Limusa, Noriega Editores. pp 395-436.
- Chester-Jones, H., Fontenot, J.P., Veit, H.P. y Weeb, K.E. 1989. The physiological effects of feeding high levels of magnesium to sheep. *Journal of Animal Science*, 67:1070-1081.
- Chester-Jones, H., Fontenot, J.P. y Veit, H.P. 1990. Physiological and pathological effects of feeding high levels of magnesium to steers. *Journal of Animal Science*, 68:4400-1413.
- Chicco, C.F., Ammerman, C.B., Feaster, J.P. y Dunavant, B.G. 1973. Nutritional interrelationships of dietary calcium, phosphorous and magnesium. *Journal of Animal Science*, 36:986-993.
-

- Christensen, M., Henkel, P. y Purslow, P.P. 2000. Does post-mortem proteolysis depend on fibres type distribution? Proceedings of 46 th. International Congress of Meat Science and Technology. Buenos Aires, Argentina, pp 472-473.
- Colomer-Rocher, F. y Espejo, M. 1973. Influencia del peso al sacrificio y del sexo sobre las características de las canales de cordero de raza Rasa Aragonesa. Intituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Series de Producción Animal 4:133-150.
- Colomer-Rocher, F., Delfa, R., y Sierra, I. 1988. Método normalizado para el estudio de los caracteres cuantitativos y cualitativos de las canales ovinas producidas en el área mediterránea según los sistemas de producción. Cuadernos INIA, 17:19-41.
- Coombs, G.F. y Coombs, S.B. 1986. The role of selenium Nutrición.; New York: Academic Press, Inc.; 4 p.
- Delfa, R., Teixeira, A., y Colomer, F. 1987. Relaciones existentes entre la conformación y la condición corporal en ovejas adultos de la raza Rasa Aragonesa. ITEA, Ciencia Animal, 7:132-134.
- Delfa, R. 1992. Clasificación de canales ovinas en la C.E.E. El quinto cuarto. Dirección General de Producción Agraria. Zaragoza, España, pp114.
- Díaz-Chiron, M.T. 2001. Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria, Departamento de Fisiología Animal.
- Dietrich, B. y Kyriakopoulos, A. 2001. Mammalian selenium-containing proteins. Annual Review of Nutrition, 21: 453-473.
- Draft Toxicological profile for selenium. 2003. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Dransfield, E. Lachaud, A., y Ouali A. 1994. In vitro measurement of calpain activity. Proceeding 35 th. International Conference of Meat Science and Technology. Copenhagen, p1141.
- Dransfield, E., Nute, G.R., Roberts, T.A., Bocard, R., Touraille, C., Buchter, R, L., Casteels, M., Cosentino, E., Hood, D.E., Joseph, R.L., Schon, I., y Paardekooper, E.J.C. 1984. Beef quality assessed at European research centres. Meat Science, 10:1-10.
- Dransfield, E., Geoffrey, R., Nute, G. R., McDougall, D. B. y Rhodes, D. N. 1979. The effect of breed on eating quality of cross breed lambs. Journal of the Science of Food and Agriculture, 30:805-808.
-

- Dua, K. y Care, A.D.. 1995. Impaired absorption of magnesium in the aetiology of grass tetany. *British Veterinary Journal*, 151:413.
- Ellis, M. y McKeith, F. 2000. Nutritional influences on pork quality. Facts, National Pork Producers Council. American Meat Science Association, pp 1-9.
- Ellison, R.S. 1992. A review of copper and selenium reference ranges in cattle and sheep. *Proceeding 22nd Seminar sheep and beef cattle society New Zealand Veterinary Association*. Publicación No.154.3-17. Nueva Zelanda.
- Fischer, C. y Hamm, R. 1980. Biochemical studies on fast glycolysing bovine muscle. *Meat Science*, 4:41-49.
- Fontenot, J.P., Allen, V.G. Bune, G.E. y Goff, J.P. 1989. Factors influencing magnesium absorption and metabolism in ruminants. *Journal of Animal Science*, 67:3445-3455.
- Forrest, C. J., Aberle D. E., Hedrick, B. H., Judge, D.M. y Merkel, A.R. 1974. *Fundamentos de Ciencia de la Carne*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Gerloff, B.J. 1992. Effect of selenium supplementation on Dairy Cattle. *Journal of Animal Science*, 70:3934-3940.
- Giduck, S. A., J. P. Fontenot and S. Rahnema 1988. Effect of ruminal infusion of glucose, volatile *fatty* acids and hydrochloric acid on rumen metabolism in *sheep*. *Journal of Animal Science*, 66: 532-542.
- Gondret, F. y Bonneau, M. 1998b. Mise en place des caractéristiques du muscle chez lapin et incidence sur la qualité de la viande. *INRA Productions Animales*, 11:335-347.
- Grace N. D. y Clark, R.G. 1991. Trace element requirements, diagnosis and prevention of deficiencies in sheep and cattle. En *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants* ed. Tsuda, T. Sasaki y Kawashima, eds. Academic Press., Londres.
- Greene, L.W., Fontenot, J.P. y Webb Jr., K.E. 1983a. Effect of dietary potassium on absorption of magnesium and other macroelements in sheep fed different levels of magnesium. *Journal of Animal Science*. 56:1208-1213.
-

- Greene, L.W., Fontenot, J.P. y Webb Jr., K.E. 1983b. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. *Journal of Animal Science*. 57:503-510.
- Greene, L. W., J. P. Fontenot, and K. E. Webb, Jr. 1983c. Effect of dietary potassium on absorption of magnesium and other macroelements in sheep fed different levels of magnesium. *Journal of Animal Science*, 56:1208.
- Greene, L.W., Schelling, G.T. y Byers, F.M. 1986. Effects of dietary monensin and potassium on apparent absorption of magnesium and other macroelements in sheep. *Journal of Animal Science*. 63:1960-1967.
- Greene, L. W., May, B.J., Schelling, G.T. y Byers, F.M. 1988. Site and extent of apparent calcium and magnesium absorption in steers fed monensin. *Journal of Animal Science*. 66:2987-2291.
- Grings, E.E. y Males, J.R. 1988. Performance, blood and ruminal characteristics of cows receiving monensin and a magnesium supplement. *Journal of Animal Science*, 66:556-573.
- Gutiérrez, M. J. 2001. Efecto del cruzamiento con Suffolk y Rambouillet sobre el rendimiento, composición y calidad de la canal de ovinos Pelibuey. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, México D.F.
- Guerrero, L.I., Ponce A.E. y Pérez-Chabela, M.L., 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D.F.
- Gunter, S.A., Beck, P.A. y Phillips, J.M. 2003. Effects of supplementary selenium source on the performance and blood parameters in brood cows and their calves. *Journal of Animal Science*, 81:856-862.
- Hamm, R. 1960. Biochemistry of meat hydration. *Advances Food Research*, 10:355.
- Hamm, R. 1975. On the rheology of minced meat. *Animal Science* 6: 281-287.
- Hamm, R. 1985. Properties of water in relation to food quality and stability. *Applied Animal Science*, 90: 59-63.
- Hammond, J. 1932. Growth and Development of mutton qualities in the sheep. Oliver y Boyd, Eds. Edinburg.
-

- Hansard, S.M. 1983. Microminerals for Ruminant Animals. Nutrition Abstracts and reviews - series B Commonwealth Bureau of Nutrition, January, 53: 1-43
- Harris, D.C. 1982. Measurement and description of lambs carcasses. Producing lamb carcasses to meet particular market requirements. Proceeding Australian Society of Animal Production, 14:50-52.
- Hejazi, S. Fluharty, F.L., Perley, J.E., Loerch, S.C., y Lowe, G.D. 1999. Effects of corn processing and dietary fiber source on feedlot performance, visceral organ weight, diet digestibility, and nitrogen metabolism in lambs. Journal of Animal Science, 77: 507-515.
- Hidiroglu, M. y Lessard, J.R. 1976. The effect of selenium or vitamin E supplementation on volatile fatty acid content of rumen liquor in sheep fed a purified diet. International Journal of Nutrition Research, 46:458-463.
- Hill, F. 1966. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. Journal Food Science. 31:161-166.
- Hill, F.N. , y Anderson, D.L. 1958. Comparasion of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. Journal Nutrition, 64: 587.
- Himeno S. y Imura N. 2000. New aspects of physiological and pharmacological roles of Selenium. Journal of Health Science, 46 (6) 393-398.
- Honikel, K. O. 1997. Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. Food Chemistry, 59: 573-582.
- Honikel, K.O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Science, 49: 447-457.
- Honikel, K.O., Kim, G.J., y Hamm, R. 1986. Sarcomere shortening of prerigor muscles and its influence on drip loss. Meat Science, 16:267-282.
- Hopkings, D.L., Ferrier, G.R., Channon, H.A., y MaC Donald, B.A. 1995 Assessment of lamb meat quality in Sydney and Melbourne. Proceeding New Zealand of Animal Production, 55:114-116.
- Horn, J.P. y Smith, R.H. 1978. Absorption of magnesium by the young steer. British Journal of Nutrition,40:473-484.
- Hunt, M.C., Acton, J.C, Benedictm, R.C., Calkins, C.R., Cornforth, D.P., Jeremiah, L. E., Olson, S.P.,Salm,C.P., Savell, J.W. y Shivas, S.D. 1991 Guidelines for Meat color Evaluation. American Meat Science Associations. Proceeding of the Reciprocal Meat Conference (Vol. 44), pp 3- 17.
-

- Hurley, L.A., Greene, L.W. Byers, F.M. y Carstens, G.E. 1990. Site and extent of apparent magnesium absorption by lambs fed different sources of magnesium. *Journal of Animal Science*, 68:2181-2187.
- Issanchou, S. 1996. Consumer expectation and perceptions of meat and meat products quality. *Meat Science*, 43:5-19.
- Jackson, M. J. 1987. Muscle damage during exercise: possible role of free radicals and protective effect of vitamin E. *Proceeding Nutrition Society*, 46: 77-80.
- Jacques, P. F. Hartz, S.C. Mc Gandy, R.B. Russel, R.M. y Jacob, R.A. 1988. Effect of Vitamine E supplement intake on HDL total cholesterol in Tle elderly. *Nutrition . Report. International*, 3:363-369.
- Johnson, C.L. and Aubrey Jones, D.A. 1989. Effect of change of diet on the mineral composition of the rumen fluid, on magnesium metabolism and on water balance in sheep. *British Journal of Nutrition*, 61:583.
- Jones, K. W. 1984. Protein lipid interactions in processed meats. *Reciprocal Meat Conference Proceeding. Meat Science*, 31:52-56.
- Koenig, K.M., Buckley, W.T. y Shelford J.A. 1991. True absorption of selenium in dairy cows: Stable isotope tracer methodology effect of dietary copper. *Canadian Journal of Animal Science*. 71:175-183.
- Koenig, K.M., Rode, L.M., Cohen, L.M., y Bucklet, W.T. 1997. Effects of diet and chemical form of selenium on selenium metabolism in sheep. *Journal of Animal Science*, 75:817-827.
- Koohmaraie, M. 1988. Role of endogenous proteases in meat tenderness. *Proceeding of the Reciprocal Meat Conference*, 41:89-103.
- Langlands, J.P. Donald, G.E. Bowles, J.E. y Smith, A.J. 1991a. Subclinical selenium insufficiency 1. Selenium status and the response in liveweight and wool production of grazing ewes supplemented with selenium. *Australian Journal Experimental Agriculture*, 31:25-31.
- Lawler, T.L., Taylor, J.B., Finley, J.W. y Caton, J.S. 2004. Effect of supranutritional and organically bound selenium on performance, carcass characteristics, and selenium distribution in finishing beef steers. *Journal of Animal Science*, 82:1488-1493.
-

- Lawrie, R.A. 1998. Lawrie's Meat Science. Woodhead Publishing. Cambridge, Inglaterra.
- López, M. 1987. Calidad de la canal y de la carne en los tipos de lechal, ternasco y cordero de la raza Lacha y estudio de su desarrollo. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.
- Mac Dougall, D.B. 1970. Characteristics of the appearance of meat. I. The luminous absorption, scatter and internal transmittance of the bacon manufactured from normal and pale pork. *Journal Science Food Agriculture*, 21, 568.
- MacIntyre I. y Robinson C. J. 1969. Magnesium and the gut: experimental and clinical observation. *Annual New York Academic Science*, 162:865-873.
- MacPherson, A. y Chalmers, J.S. 1984. Methods of selenium supplementation of ruminants. *Veterinary Record*, 115:544-546.
- Manazza, J. 2006. Condición corporal en ovinos. INTA, Arg. *Visión rural*. 13: 60.
- Martens, H., Kubel, O.W., Gabel, G. y Honig, H. 1987. Effects of low sodium intake on magnesium metabolism of sheep. *Journal Agriculture Science, UK*. 108:237-243.
- Martens, H.O. y Blume, I. 1986. Effect of intraruminal sodium and potassium concentrations and of the transmural potential difference on magnesium absorption from the temporarily isolated rumen of sheep. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 71: 409-415.
- Martens, H. 1983. Saturation kinetics of magnesium efflux across the rumen wall in heifers. *British Journal of Nutrition*, 49:153-158.
- Martens, H. y Rayssiguier, Y. 1980. Magnesium metabolism and hypomagnesaemia. En: *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. AVI Publishing Company. Westport, Connecticut. pp. 447-466.
- Marsh, B.B. 1977. The nature of tenderness. *Proceedings of the Annual Reciprocal Meat Conference*. pp. 69.
-

- Martínez, R. L. 2003. Características de las canales de ovinos. Alimentación en ovinos. Curso Bases de la Cría Ovina, Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinos. Pachuca, Hidalgo.
- McDowell, L.R., Velásquez, y Valle, G. 1997. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Departamento de Zootecnia. Universidad de Florida, Gainesville. p. 84.
- McMurray, C. H. 1989. Nutritional supplies, requirements and effects of deficiencies of vitamin E and selenium. Proceeding of the Roche Symposium, Londres, pp 42.
- Miller, W.J. 1974. New concepts and developments in metabolism and homeostasis of inorganic elements in dairy cattle. A review. Journal of Dairy Science, 50:1549-1560.
- Miyazaki, S. 1991. Effect of chemicals on glutathione peroxidase of chick liver. Research in Veterinary Science, 51:120-122.
- Montaño, M. y Zinn, R. A. 1997. Comparación del potencial alcalinizante en rumen de brucita (hidróxido de Mg) y bicarbonato de sodio en dietas de finalización. 7a. Reunión Anual sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos. Centro de Convenciones Calafia. Mexicalí, B.C pp.15-23
- Navarrete, S.M.C. 1986. Determinación de la calidad de la canal y de la citología del eyaculado obtenido de ovinos con escroto reducido (morlean), orquiectomizados e implantados con zeranol. Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. México D.F.
- Naziroglu, M., Alsakal, M. Cay, M., y Celik, S. 1997. Effects of Vitamin E and Selenium on some rumen parameters in lambs. Acta Veterinaria. Hungarica, 45:447-456.
- NRC. 1980. Mineral tolerance of domestic animals. National academy of sciences – National research council. Washington.
- NRC. 1983. Selenium in Nutrition. Subcommittee on Selenium, Committee on Animal Nutrition, Board of Agriculture, National Research Council, Washington, D.C., pp 174.
-

- NRC. 1985. Nutrient Requirements of Sheep, 5a. edición. National Academy Press, Washington, D.C.
- NRC. 1988. Nutrient Requirements of swine 4a. edición. National Academy Press, Washington, D.C.
- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle, 6a. edición. National Academy Press, Washington, D.C.
- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants. Sheep, goats, cervids, and new world camelids. Edición The National Academy Press, Washington, D.C. 362 p.
- Norma Mexicana PROY-NMX-FF-106-SCFI-2006. Productos Pecuarios-Carne de Ovino en Canal-Clasificación; publicada en el Diario Oficial de la Federación. (4 de julio de 2006). Con declaratoria de vigencia de la NMX-FF-106-SCFI-2006. Productos Pecuarios-Carne de Ovino en Canal-Clasificación.
- O'Dea, J. D. y Agar, N.S. 1990. Glutathione and 2,3-diphosphoglycerate in the blood of hypoxic ruminants. *Research Veterinary Science* 29:153-156.
- Offer, G. y Knight, P. 1988. The structural basis of water-holding in meat. En: *Developments in Meat Science*. (R. Lawrie, ed.) p. 173.
- Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T., Elsey, J., Parsons, N., Sharp, A., Starr, R., y Purslow, P. 1989. The structural basis of the water holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstructure*, 8:151.
- Offer, G. y Trinck, J. 1983. On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8:245.
- Ouali A. 1990. Meat tenderisation: Possible causes and mechanisms. A review. *Journal Muscle Foods*, 1:129-165.
- Palombo, R. y Wijngaards, G. 1990. Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Science*, 28:61-76.
-

- Pearson, A.M. y Young, R.B. 1989. Postmortem changes during conversion of muscle to meat. En *Muscle and Meat Biochemistry*, pp. 391-444. Academic. Press Ltd., Londres. pp 391-444.
- Peplowski, M.A., Mahan, D.C., Murray, F.A., Moxon, A. L., Cantor, A.H., Ekstrom, K. E. 1981. Effect of dietary and injectable vitamin E and selenium in weanling swine antigenically challenged with sheep red blood cells. *Journal Animal Science*;51:344–351
- Pérez-Alvarez, J.A. 1996. Contribucion al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Valencia, Espana., Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politecnica de Valencia. Valencia, España.
- Pérez-Alvarez, J.A., Fernández-Lopez, J., Sayas-Barberá, M.E., y Cartagena. Gracia, R. 1998. Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne* 63: 115-122.
- Pérez-Alvarez, J.A. 2000. El color como parámetro de calidad en la industria cárnica. En : *La Industria cárnica, Aspectos economicos, científicos y tecnológicos*. Fernández-Lopez, Pérez-Alvarez J. A. Sayas-Barbera y Martinez, F. Editores. Universidad Miguel Hernández, Elche, España.
- Ponce, E. 2006. Cambios bioquímicos *pre y postmortem*. En *Ciencia y tecnología de carnes*. Ed. Hui, Y.H., Guerrero, I y Rosmini, M. Limusa, Noriega Editores. pp 111-135.
- Price, J.F. y Schweugrt, B.S. (1981). *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Ed. Acribia. Madrid, España.
- Purchas, R.W. 1990. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. *Meat Science*, 27:129-140.
- Ramírez M.M. 1973. Efectos del criptorquidismo artificial sobre ganancia de peso y calidad de la canal en corderos machos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. México D.F.
- Ramírez, J.E., Alvarez, E.G., Montañó, M., Shen, Y. y Zinn, R.A. 1998. Influence of dietary magnesium level on growth-performance and metabolic response of Hostein steers to Laidlomycin Propionate. *Journal of Animal Science*. 76:1753-1759.
- Ramírez, J. E. y Zinn, R.A. 2000. Interaction of dietary magnesium level on the feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 78:2072-2080.
-

- Ramírez-Bribiesca J.E. Tórtora J.L., Huerta, M., Aguirre, A. y Hernández, L.M. 2001. Diagnosis of selenium status in grazing dairy goats on the Mexican plateau. *Small Ruminant Research* 41:81-85.
- Ramírez-Télles J. A. 2004. Características bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidad de crecimiento. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. IRTA. Centro de Tecnología de la Carne Monells (Girona).
- Rannem, T., Ladefoged, K., Hylander, E., Christiansen, J., Laursen, H., Kristensen, J.H., Linstow, M., Beyer, N., Liguori, R. y Dige-Petersen, H. 1995. The effect of selenium supplementation on skeletal and cardiac muscle in selenium-depleted patients. *Journal Parenter Enteral Nutrition*, 19:351 - 355.
- Ranken, M. D. 2003. Manual de la industria de la carne. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España. 16 – 54 p.
- Rapado A., Castrillo J. M., Arroyo M., Traba M. L. y Calle M. 1975. Magnesium deficiency rickets a clinical study. En: Norman, A., Vitamin D and Problems Related to Uremic Bone Disease, I vol. (Norman, A editors) de Gruyter, Berlin, 453-460.
- Regenstein, J.M., Gorimar, T.S., y Sherbon, J.W. 1979. Measuring the water holding capacity of natural actomyosin from chicken breast muscle in the presence of pyrophosphate and divalent cations. *Journal Food Biochemistry*, 4:205.
- Rosmini, M. 1998. El color como propiedad física en el control de la calidad de la carne y productos cárnicos, Curso de Postgrado, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Depto de Salud Pública Veterinaria. Universidad Nacional del Litoral, Esperanza Santa Fe, Argentina.
- Ryu, Y.C., Rhee, M.S., Lee, K.M., y Kim, B.C. 2005. Effect of different levels of dietary supplemental selenium on performance, lipid oxidation, and color stability of broiler chicks. *Poultry Science*. 84:809-815.
- Salinas, M.A. 1996. Evaluación de la composición y rendimiento de la canal en ovinos criollos y Suffolk. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Sanguinés, G.J.R. 1990. Efecto del implante de zeranol y la suplementación con sal común o mineralizada en el crecimiento compensatorio y balance mineral en ovinos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Sañudo, C., Delfa, R., Gonzalez, C., Alcalde, M.J., Casas, M., Santolaria, P., y Vigil, E. 1992a. Calidad de la carne de ternasco. In ITEA, Vol. Vol. 88A, pp. 221-227, Zaragoza.
-

- SAS. 1996. User's guide. System analysis statistical. Institute Inc. Raleigh, North Carolina. USA.
- Scharauzer, G.N. 2000. Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *Journal Nutrition*. 7: 1653-1656.
- Seelig M. S. 1980. Mg deficiency in the pathogenesis of the disease: Early roots of cardiovascular, skeletal and renal abnormalities. Plenum Press New York, 488.
- Seideman, S.C., Cross, H.R., Smith, C.G., y Durland, P.R. 1984. Factors associated with fresh meat color: A review. *Journal Food Quarterly* 6: 211-237.
- Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Whipple, G., Wheeler, M., Miller, M.F., Crouse, J.D., y Reagan, J.O. 1991. Predictors of beef tenderness: development and verification. *Journal Food Science* 56:1130.
- Shackelford, S.D., Wheeler, T.A. y Koohmaraie, M. 1997. Tenderness classification of beef I. Evaluation of beef Longissimus shear force at 1 or 2 days postmortem as a predictor of aged beef tenderness. *Journal of Animal Science*. 75:2417-2422.
- Shamberguer, J.R. 1981. *Biochemistry of Selenium*. Plenum Press. New York and London. Pp 787.
- Schönfelt, H.C. y Naudé, P.T. 1994. Effect of age and fatness on tenderness of beef cuts in South Africa. In *Proceedings 40th. Intl. Congress of Meat Science and Technology*. The Hague, The Netherlands.
- Schönfelt, H.C., Naude, R.T., Bok, W., Van Heerden, S.M., Smit, R., y Boshoff, E. 1993. Flavour and tenderness related quality characteristics of goat and sheep meat. *Meat Science*. 34:363.
- Serra, A.B., Nakamura, K., Matsui, T., Harumoto, T. y Fujihara, T. 1994a. Inorganic selenium for sheep I. Selenium balance and selenium level in the different ruminal fluid fractions. *Asian Journal of Animal Science*. 7:83-89.
- Serra, A.B., Nakamura, K., Matsui, T., Harumoto, T. y Fujihara, T. 1994b. Inorganic selenium for sheep II. Its influence on rumen bacterial yield, volatile fatty acid production and total tract digestion of Timothy hay. *Asian Journal of Animal Science*. 7:91-96.
- Shills M. E. 1988. Magnesium in health and disease. *Annual Review Nutrition*, 8: 429-436.
-

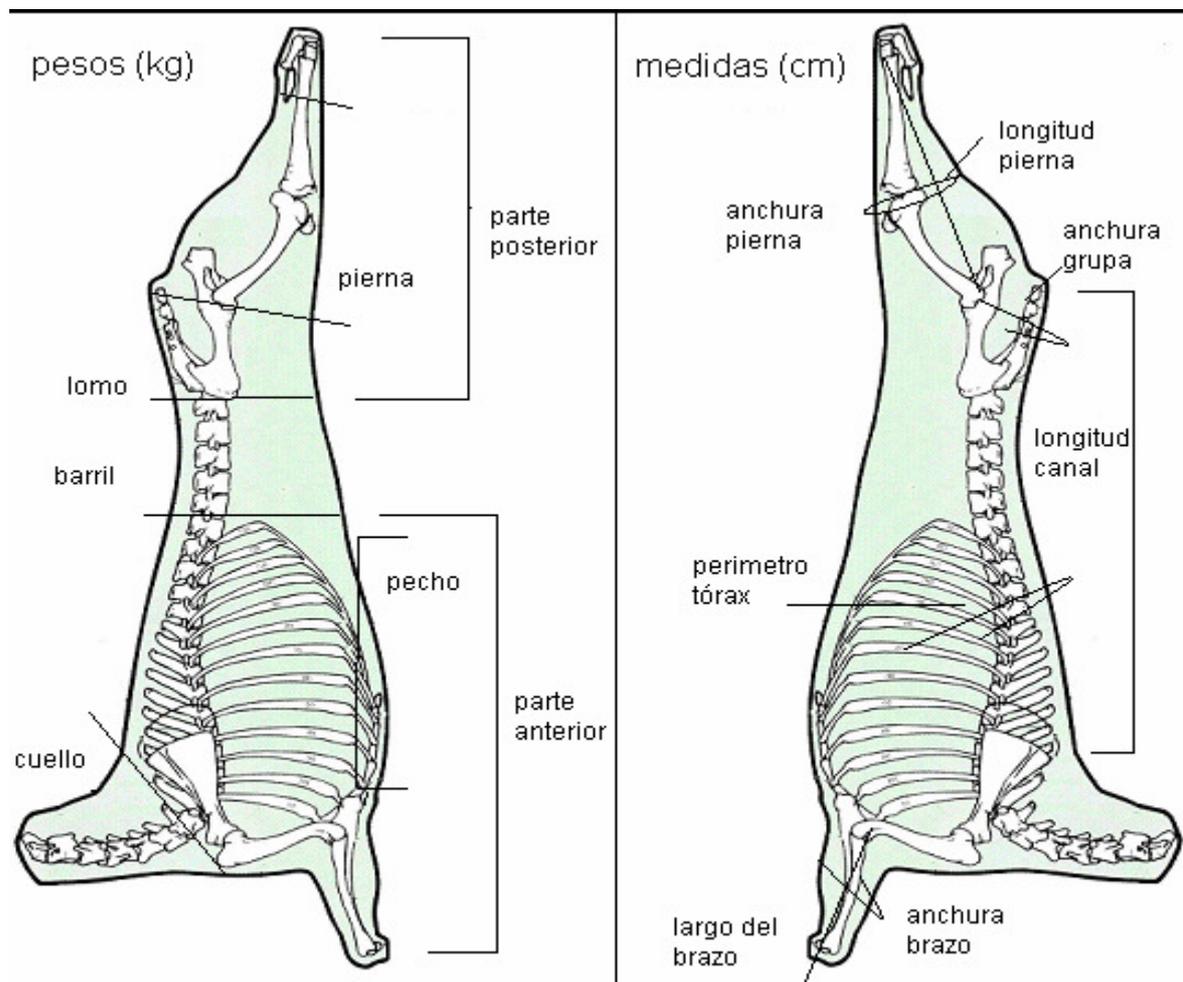
- Sisson, S. y Grossman, J.D. 1983. Anatomía de los animales domésticos. 5ª edición. Ed. Salvat. Tomo 1. 1330 p.
- Spears, J. W., Harvey, R.W. y Segerson, E.C. 1986. Effects of marginal deficiency and winter protein supplementation on growth, reproduction, and selenium status of beef cattle. *Journal of Animal Science*. 63:586–594.
- Smulders, F.J.M., Marsh, B.B., Swartz, D.R., Rusell, R.L. y Hoenecke, M.E. 1990. Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Science*. 28:349.
- Steel, R.G. y Torrie, J. H. . 1980. Bioestadística: Principios y procedimientos. Segunda edición (primera en español). McGraw-Hill.
- Stewart, J. y Moodie, E.W. 1956. The absorption of magnesium from the alimentary tract of sheep. *Journal Comparative Pathological Therapy* 66:10.
- Stowe, H.D. y Herdt, T.M. 1992. Clinical Assessment of selenium status of livestock. *Journal of Animal Science*. 70: 3928- 3933.
- Sunde R. A. 1990. Molecular biology of selenoproteins. *Annual Review Nutrition*, 10: 451-474.
- Tasker, J.B. 1992. Current options in selenium supplementation. Proceeding of the 22nd seminar sheep and beef cattle society New Zeland Veterinary Association incorporating the NZVA conference. Publication No. 154. 53-59.
- Terrel 1980. What's going on inside that casing? *Meat Industry* 51: 56-57.
- Totosaus, A. y Guerrero I. 2006. Propiedades funcionales y textura. En *Ciencia y Tecnología de Carnes*. Hui, Y. Guerrero I. y Rosmini M. (eds), editorial Limusa, pp 229-251.
- Ullrey, D.E., Brady, P.S., Whetter, P.H. KuPo, K. y Magee, W.T. 1977. Selenium supplementation of diets for sheep and beef cattle. *Journal of Animal Science*. 45:559.
- Ullrey, D. E. 1992. Basis for regulation of selenium supplements in Animal diets. *Journal of Animal Science*. 70:3922-3927.
- USDA, 2006. <http://www.fas.usda.gov/2006/whatsnewaug06.asp>. Fecha de consulta. Enero de 2007.
-

- Warris, P.D., Brown, S.N., y Adams, S.J.M. 1990a. Variation in haem pigment concentration and color in meat from British pigs. *Meat Science*. 28:321-329.
- Whanger, P.D., Weswing, P.H. y Oldfield, J.E. 1978. Selenium, sulfur and nitrogen levels in ovine rumen microorganisms. *Journal of Animal Science*. 46:515-519.
- Weizhong C. y Udén, P. 1998. An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fibre. *Animal Feed Science and Technology*. 74:281.
- Wilson, J. 1981. Particles in sources of magnesium. thesis dissertation. University of Florida.
- Wolin, M. J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *Journal of Dairy Science*. 43:1452-1455.
- Yano, F., Yano, H. y Breves, G. 1991. Calcium and phosphorus metabolism in ruminants. En: Tsuda, Y. Sasaki, and R. Kawashiima (Ed). *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Academic Press, New York.
- Zanetti, M.A. y Pettinari, R.L. 1989. Selenium balance in sheep. *Journal Dairy Science* 72 (Suppl. 1): 480 (Abstr.).
- Zhan, X.A., Wang, M, Zhao, R.Q. Li, W. y Xu Z. 2007. Effect of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 132: 202-211.
- Zinn, R.A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *Journal of Animal Science*. 66:213-217.
- Zinn, R. A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 68:767.
- Zinn, R.A. y Owens, F.N. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net protein synthesis. *Canadian Journal of Animal Science*. 66:157-166.
-

Zinn, R. A., Y. Shen, C. F. Adam, M. Tamayo, y J. Rosalez. 1996. Influence of dietary magnesium level on metabolic and growth-performance responses. *Journal of Animal Science*. 74: 1462-1469.

9 ANEXOS

Anexo 1. Proporciones de pesos y medidas en canal y cortes de corderos finalizados con dietas suplementadas con Selenio y/o Magnesio

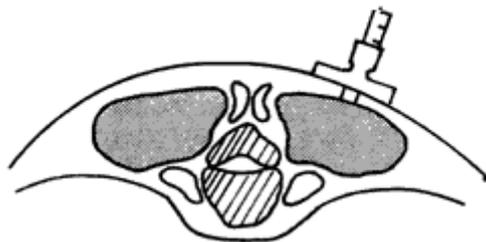


Longitud canal: de la 1a. vertebra torácica a la 1a. sacra.

Longitud de la pierna: articulación tarso-metatarsiana hasta el fondo del perineo.

Anchura de la grupa: medida entre los trocántes de ambos femures.

Anexo 2. Medición de la grasa de cobertura.



Anexo b
Vista transversal de la canal en la doceava costilla

Anexo 3. Hoja de evaluación de análisis sensorial.

HOJA DE EVALUACION SENSORIAL EN ESCALA SEMIESTRUCTURADA

LABORATORIO DE BIOQUIMICA DE MACROMOLECULAS EVALUACION SENSORIAL DE CARNE DE BORREGO ASADA

FECHA:

INSTRUCCIONES: Señale con una línea vertical la distancia que mejor describa la intensidad del atributo que está evaluando, indicando el número de la muestra.

CALIDAD GENERAL

pésima excelente

SABOR

desagradable Muy agradable

OLOR

desagradable Muy agradable

COLOR

Muy pálida Muy oscura

JUGOSIDAD

reseca jugosa

SUAVIDAD

Muy suave Muy dura

Comentarios:

¡¡¡ GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN !!!

Anexo 4. Análisis de varianza del flujo de la digesta a duodeno en corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	CV	P>	Error	
			CM	gl
Flujo hacia duodeno, g/día				
Materia orgánica	14.57	2.31	2056.07	6
Fibra detergente neutra	22.05	3.42	582.27	6
Almidón	20.77	3.24	200.6	6
Nitrógeno no amoniacal	20.15	1.04	9.45	6
Nitrógeno microbiano	20.40	0.93	5.55	6
Nitrógeno del alimento	33.01	0.70	1.49	6
Mg	25.93	1.70	3.88	6
Se	36.50	1.57	0.09	6

Anexo 5. Análisis de contrastes del flujo de la digesta a duodeno en corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Flujo hacia duodeno, g/día			
Materia orgánica	2.09	1.18	3.66
Fibra detergente neutra	5.41	0.59	4.25
Almidón	6.88	0.11	2.73
Nitrógeno no amoniacal	0.38	1.86	0.87
Nitrógeno microbiano	0.42	1.09	1.27
Nitrógeno del alimento	0.09	1.99	0.02
Mg	0.29	4.72	0.09

Se	3.87	0.84	0.01
----	------	------	------

Anexo 6. Análisis de varianza de los nutrientes fermentados en el rumen de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	CV	P>	Error	
			CM	GI
Digestión en Rumen, % de consumo				
Materia orgánica	57.61	3.32	1.60	6
Nitrógeno de alimento	10.33	0.50	6.21	6
Fibra detergente neutro	38.41	3.32	2.00	6
Almidón	5.96	3.65	2.16	6
Eficiencia microbiana	25.45	1.34	44.9	6
Eficiencia de nitrógeno	20.17	0.84	3.90	6
Mg	19.18	4.02	1.13	6
Se	41.36	2.34	3.03	6

Anexo 7. Análisis de contrastes de los nutrientes fermentados en el rumen de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Digestión en rumen, % de consumo			
Materia orgánica	3.48	0.96	5.52
Nitrógeno de alimento	0.19	1.29	0.03
Fibra detergente neutra	6.83	0.18	2.95
Almidón	7.99	0.11	2.87
Eficiencia microbiana	0.85	1.25	1.92
Eficiencia de nitrógeno	0.73	0.84	0.97
Mg	0.52	11.2	0.30
Se	5.68	1.28	0.06

Anexo 8. Análisis de varianza sobre el porcentaje de digestión post-ruminal en corderos suplementados con Mg y Se

Variables	CV	P>	CM	GI
Digestión postruminal, % del flujo a duodeno				
Materia orgánica	8.42	2.69	2.86	6
Nitrógeno	5.92	3.18	2.03	6
Fibra detergente neutro	55.41	0.67	2.31	6
Almidón	3.79	0.93	1.01	6
Eficiencia de nitrógeno	20.17	0.84	3.90	6

Anexo 9. Análisis de contrastes del porcentaje de digestión post-ruminal en corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Digestión post-ruminal, % de flujo de duodeno			
Materia orgánica	7.2	0.65	0.17
Nitrógeno	7.3	1.78	0.43
Almidón	6.83	0.18	2.95
Fibra detergente neutra	0.93	1.23	0.63
Mg	0.28	0.13	0.45
Se	0.10	0.03	0.70

Anexo 10. Análisis de varianza sobre el porcentaje de digestión total en corderos suplementados con Mg y Se

Variables	CV	P>	CM	GI
Digestión postruminal, % del flujo a duodeno				
Materia orgánica	2.46	11.66	2.4	6
Nitrógeno	2.99	18.8	9.8	6
Fibra detergente neutro	13.23	17.58	3.4	6
Almidon	0.41	11.82	8.2	6
Mg	28.0	0.28	11.4	6
Se	59.66	0.28	8.3	6

Anexo 11. Análisis de contrastes de Mg, Se, digestión total en corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Digestión total, %			
Materia orgánica	25.3	0.16	9.4
Nitrógeno	41.3	2.53	12.7
Almidón	28.0	0.03	6.8
Fibra detergente neutra	17.6	0.10	3.11
Mg	0.008	2.3	0.07
Se	6.8	0.15	1.72

Anexo 12. Análisis de varianza sobre las concentraciones de Mg, Se, pH y AGV en rumen

Variables	CV	P>	CM	GI
Mg, rumen	4.46	1.6	0.0004	6
Se, rumen	4.96	18.4	0.0005	6
pH	3.23	17.6	.005	6
Acetico	10.41	12.2	0.0001	6
Propionico	11.3	13.0		
Butirico	12.5	9.4		
Ac/Pr	18.0	3.28	0.47	6
Metano	3.4	4.28	0.048	6

Anexo 13. Análisis de contrastes en las concentraciones de Mg, Se, pH y AGV en rumen

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Mg en rumen	0.03	0.16	9.4
Se en rumen	4.3	2.53	12.7
pH	8.0	1.03	6.8
Acetico	17.6	3.01	0.06
Propionico	0.26	2.3	0.07
Butirico	6.8	0.01	1.72
Ac/prop	7.6	8.1	0.04
Metano	4.0	2.3	3.2

Anexo14. Análisis varianza de ganancias diarias de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de animales suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
Peso inicial	0.0289	8.471	0.895	4.220	20
Ganancia diaria de peso 1 a 14 días	0.165	37.927	0.294	0.009	20
Ganancia diaria de peso 14 a 28 días	0.0009	30.914	0.999	0.005	20
Ganancia diaria de peso 28 a 42 días	0.0297	28.688	0.892	0.004	20
Ganancia diaria de peso 1 a 28 días	0.1019	26.476	0.531	0.004	20
Ganancia diaria de peso 1 a 42 días	0.0790	23.065	0.639	0.003	20
Ganancia diaria de peso 14 a 42 días	0.0061	25.542	0.988	0.003	20
Consumo de alimento 1 a 14 días	0.5780	4.4781	0.0005	0.002	20
Consumo de alimento C 14 a 28 días	0.7695	3.4400	0.0001	0.001	20
Consumo de alimento C 28 a 42 días	0.6443	5.9581	0.0001	0.005	20
Consumo de alimento C 1 a 28 días	0.7343	3.2697	0.0001	0.001	20
Consumo de alimento C 14 a 42 días	0.6940	4.6597	0.0001	0.003	20
Consumo de alimento C 1 a 42 días	0.7049	4.1168	0.0001	0.002	20
Conversión de alimento 1 a 14 días	0.0893	50.407	0.589	6.031	20
Conversión de alimento 14 a 28 días	0.0999	36.435	0.540	3.988	20
Conversión de alimento 28 a 42 días	0.0842	29.395	0.614	2.994	20
Conversión de alimento 1 a 28 días	0.0475	31.769	0.801	2.375	20
Conversión de alimento 1 a 42 días	0.0277	25.947	0.901	1.731	20

Anexo15. Análisis de contrastes de ganancias diarias de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de animales suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Peso inicial	0.464	0.860	0.930
Ganancia diaria de peso 1 a 14 días	0.669	0.091	0.431
Ganancia diaria de peso 14 a 28 días	0.892	1.000	0.974
Ganancia diaria de peso 28 a 42 días	0.567	0.779	0.663
Ganancia diaria de peso 1 a 28 días	0.689	0.197	0.570
Ganancia diaria de peso 1 a 42 días	0.926	0.265	0.537
Ganancia diaria de peso 14 a 42 días	0.820	0.878	0.831
Consumo de alimentos 1 a 14 días	0.133	0.0001	0.174
Consumo de alimento 14 a 28 días	0.014	0.0001	0.929
Consumo de alimento 28 a 42 días	0.617	0.0001	0.535
Consumo de alimento 1 a 28 días	0.636	0.0001	0.341
Consumo de alimento 14 a 42 días	0.546	0.0001	0.661
Consumo de alimento 1 a 42 días	0.980	0.0001	0.430
Conversión de alimento 1 a 14 días	0.407	0.355	0.559
Conversión de alimento 14 a 28 días	0.612	0.211	0.596
Conversión de alimento 28 a 42 días	0.6291	0.222	0.905
Conversión de alimento 1 a 28 días	0.905	0.927	0.332
Conversión de alimento 1 a 42 días	0.928	0.840	0.478
Conversión de alimento 14 a 42 días	0.691	0.144	0.8266

Anexo 16. Análisis de varianza de pesos y rendimientos de canales de animales suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
Período inicial	0.106	7.835	0.535	10.262	19
Peso cabeza	0.011	10.571	0.973	0.036	19
Peso sangre	0.082	11.561	0.643	0.039	19
Peso piel	0.193	11.577	0.241	0.177	19
Peso patas	0.077	9.515	0.666	0.007	19
Peso vísceras verdes vacías	0.0799	25.951	0.654	1.175	19
Peso intestestino	0.0714	36.555	0.695	0.038	19
Peso vísceras verdes	0.200	12.266	0.225	1.552	19
Peso vísceras rojas	0.0431	37.448	0.835	0.221	19
Peso contenido gastrointestinal	0.1348	24.690	0.419	1.143	19
Peso canal vacía	0.1171	10.054	0.488	12.994	19
Peso canal caliente	0.016	7.599	0.954	2.584	19
Rendimiento canal caliente	0.0168	7.599	0.954	2.584	19
Rendimiento canal caliente (base peso vivo vacío)	0.222	5.852	0.178	12.021	19
Peso canal fría	0.0121	7.818	0.971	2.6105	19
Rendimiento canal fría	0.2537	3.926	0.127	3.948	19
Rendimiento canal fría (base peso vivo vacío)	0.254	6.104	0.126	12.487	19

Anexo 17. Análisis de contrastes de pesos y rendimientos de canales de animales suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Peso al sacrificio	0.4254	0.2356	0.6117
Peso cabeza	0.9021	0.7742	0.7431
Peso sangre	0.5563	0.4344	0.4344
Peso piel	0.44363	0.0685	0.4920
Peso patas	0.8536	0.2391	0.8536
Peso vísceras verdes vacías	0.8222	0.8904	0.2241
Peso intestino	0.3641	0.4756	0.7802
Peso vísceras verdes	0.0656	0.9021	0.3175
Peso vísceras rojas	0.7830	0.4704	0.6349
Peso contenido gastrointestinal	0.8112	0.3016	0.1784
Peso canal vacía	0.5222	0.1670	0.8105
Peso canal caliente	0.9357	0.6379	0.7453
Rendimiento canal caliente	0.1193	0.1023	0.6922
Rendimiento canal caliente (base peso vivo vacío)	0.3653	0.0772	0.3339
Peso canal fría	0.9670	0.7835	0.6922
Rendimiento canal fría	0.1004	0.0667	0.8414
Rendimiento canal fría (base peso vivo vacío)	0.3119	0.0557	0.3052

Anexo 18. Análisis de varianza de medidas de de la canal de animales suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
Largo canal	0.552	3.722	0.7752	5.910	19
Perímetro grupa	0.1399	2.726	0.4014	2.685	19
Perímetro grupa a*	0.1721	6.567	0.2982	1.458	19
Perímetro grupa b*	0.0381	5.855	0.8594	1.685	19
Largo pierna	0.0458	3.850	0.8217	2.571	19
Perímetro pierna	0.0306	8.783	0.8948	7.675	19
Largo brazo	0.1332	3.605	0.4258	2.962	19
Perímetro brazo	0.0470	7.266	0.8158	3.276	19
Perímetro tórax	0.2123	2.454	0.1993	3.439	19
Grasa cobertura	0.0278	10.909	0.9079	0.0756	19
Peso parte anterior	0.0246	9.041	0.9217	370088.288	19
Peso barril	0.0752	9.924	0.6768	20194.368	19
Peso parte posterior	0.0182	7.132	0.9487	453745.614	19
Peso lomo	0.1668	28.654	0.3136	1360223.68	19
Peso piernas	0.3167	14.371	0.0597	590944.08	19
Peso pecho	0.0246	13.624	0.9220	37407.8947	19
Peso costillas	0.0655	16.390	0.7244	264974.78	19
Peso costillas izquierdas	0.0845	9.376	0.6320	18706.1404	19
Peso costillas derechas	0.0836	9.808	0.6364	19758.7719	19

* ver diagrama Anexo 1

Anexo 19. Análisis de contrastes de medidas de de la canal de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Largo canal	0.5097	0.8589	0.4137
Perímetro grupa	0.4746	0.1305	0.6155
Perímetro grupa a*	0.0909	0.6495	0.4969
Perímetro grupa b*	0.6944	0.4889	0.6944
Largo pierna	0.6598	0.4365	0.8446
Perímetro pierna	0.9040	0.5391	0.6355
Largo brazo	0.2902	0.4679	0.2435
Perímetro brazo	0.5885	1.0000	0.4505
Perímetro tórax	0.8904	0.0641	0.2397
Grasa cobertura	0.8415	0.8192	0.5133
Peso parte anterior	0.9045	0.5564	0.7399
Peso barril	0.5595	0.4005	0.4500
Peso parte posterior	0.7751	0.9256	0.6250
Peso lomo	0.2786	0.1200	0.6951
Peso piernas	0.2084	0.0138	0.6728
Peso pecho	0.5373	0.9919	0.7530
Peso costillas	0.8892	0.2798	0.7821
Peso costillas izquierdas	0.6161	0.8294	0.2308
Peso costillas derechas	0.8122	0.8998	0.2127

* ver diagrama Anexo 1

Anexo 22. Análisis de varianza de la concentración de ácidos grasos en carne de cuello de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
Ácido mirístico	0.0308	13.708	0.066	0.085	19
Ácido palmítico	0.2618	5.853	0.115	2.129	19
Ácido palmitoléico	0.1088	15.223	0.522	0.194	19
Ácido esteárico	0.0377	10.253	0.861	2.974	19
Ácido oleico	0.1259	4.6578	0.453	4.175	19
Ácido linoleico	0.0151	17.920	0.960	2.546	19
Ácido linolenico	0.13854	160.98	0.406	0.487	19

Anexo 23. Análisis de contrastes de la concentración de ácidos grasos en carne de cuello de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P>F		
	Mg	Se	MgxSe
Ácido mirístico	0.7328	0.5885	0.0097
Ácido palmítico	0.3953	0.5999	0.0293
Ácido palmitoléico	0.8218	0.3859	0.2561
Ácido esteárico	0.6331	0.5858	0.6739
Ácido oleico	0.6232	0.6787	0.1483
Ácido linoleico	0.8639	0.8813	0.6399
Ácido linolenico	0.2228	0.2268	0.7402

Anexo 24. Análisis de varianza de la concentración de ácidos grasos en carne de lomo de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
Ácido mirístico	0.3022	16.403	0.071	0.10903	19
Ácido palmítico	0.1679	8.286	0.3102	4.1160	19
Ácido palmitoléico	0.2287	29.269	0.1675	0.6998	19
Ácido esteárico	0.07912	6.351	0.6580	1.11548	19
Ácido oleico	0.48151	6.406	0.8105	7.4604	19
Ácido linoleico	0.12146	16.600	0.4711	3.2612	19
Ácido linolenico	0.004158	89.807	0.9940	1.0650	19

Anexo 25. Análisis de contrastes de la concentración de la concentración de ácidos grasos en carne de lomo de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
Ácido mirístico	0.8996	0.1461	0.0215
Ácido palmítico	0.9427	0.3993	0.0882
Ácido palmitoléico	0.2852	0.2468	0.1138
Ácido esteárico	0.8135	0.6384	0.2588
Ácido oleico	0.7863	0.6870	0.4221
Ácido linoleico	0.6394	0.1916	0.3946
Ácido linolenico	0.8406	0.8406	0.9884

**Anexo 26 . Análisis de varianza de parámetros fisicoquímicos de carne de
cuello de animales suplementados con Mg y Se**

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
pH	0.0387	5.308	0.856	0.103	19
Capacidad retención de agua	0.427	27.533	0.124	181.692	19
Color: L	0.2733	8.282	0.101	10.632	19
Color: a	0.184	23.119	0.264	4.497	19
Color: b	0.0331	17.7082	0.883	3.3863	19
Dureza cruda	0.10364	47.2051	0.545	14661268.39	19
Dureza cocida	0.03031	61.523	0.893	2535894.22	19
Actividad de agua	0.1380	1.2039	0.408	0.0001	19
Cenizas	0.3655	25.142	0.8671	0.04515	19
Humedad	0.2119	4.5334	0.2001	11.197	19
Proteína	0.08813	10.768	0.6154	5.1307	19
Se	0.196932	44.2659	0.2335	0.5968	19
Mg	0.123554	7.488575	0.4629	0.0026	19

**Anexo 27 Análisis de contrastes de de parámetros fisicoquímicos
de carne de cuello de animales suplementados con Mg y
Se**

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
pH	0.6806	0.8567	0.4469
Capacidad retención de agua	0.1055	0.0036	0.2815
Color: L	0.2678	0.0339	0.4000
Color: a	0.4109	0.0879	0.5717
Color: b	0.5028	0.9209	0.6691
Dureza cruda	0.9894	0.6438.	0.1705
Dureza cocido	0.8080	0.5581	0.6311
Actividad de agua	0.1758	0.3010	0.7101
Cenizas	0.6380	0.5137	0.8897
Humedad	0.4708	0.2286	0.1117
Proteína	0.7907	0.2225	0.6827
Se	0.1485	0.1287	0.6697
Mg	0.4812	0.6868	0.1875

Anexo 28.. Análisis de varianza de parámetros fisicoquímicos de carne de lomo de animales suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
pH	0.0223	6.2414	0.931	0.1315	19
Capacidad retención de agua	0.08790	28.373	0.616	132.192	19
Color: L	0.1049	9.0132	0.5397	10.6309	19
Color: a	0.0728	14.9010	0.688	2.140	19
Color: b	0.0746	14.504	0.679	2.2906	19
Dureza cruda	0.10475	29.739	0.5406	673896.35	19
Dureza cocida	0.02338	55.128	0.9273	1314162.80	19
Actividad de agua	0.158330	4.5734	0.339	0.0018	19
Cenizas	0.0418	20.892	0.8416	0.02966	19
Humedad	0.0175	1.3155	0.9515	0.9580	19
Proteína	0.13080	3.6509	0.434	0.5569	19
Se	0.074233	38.133	0.6816	0.42650	19
Mg	0.096175	6.8157	0.5786	0.00259	19

Anexo 29 Análisis de contrastes de de parámetros fisicoquímicos de carne de lomo de animales suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
	0.5752	0.9404	0.7692
pH			
Capacidad retención de agua promedio	0.3789	0.8109	0.3116
Color: L	0.3240	0.7590	0.3288
Color: a	0.4220	0.5644	0.4435
Color: b	0.3769	0.8584	0.3893
Dureza cruda	0.8460	0.8910	0.1541
Dureza cocida	0.8802	0.7279	0.5840
Actividad de agua	0.4260	0.3768	0.1389
Cenizas	0.8893	0.6023	0.4696
Humedad	0.6402	0.7951	0.7920
Proteína	0.6446	0.5859	0.1539
Se	0.5271	0.8313	0.3111
Mg	0.3441	0.9139	0.3365

Anexo 30. Análisis de varianza de la evaluación sensorial de carne del cuello de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
calidad general	0.029714	48.097	0.311	9.9272	118
Sabor	0.047996	57.123	0.123	12.204	118
Olor	0.025594	49.63.96	0.3806	12.951	118
Color	0.033641	46.24644	0.2556	10.5954	118
Jugosidad	0.110519	52.84754	0.0031	10.445	118
Suavidad	0.070627	55.98190	.0339	13.872	118

Anexo .31. Análisis de contrastes de la evaluación sensorial de carne del cuello de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
calidad general	0.1793	0.2826	0.4144
Sabor	0.0220	0.6685	0.5238
Olor	0.4212	0.3993	0.2002
Color	0.2608	0.2561	0.2253
Jugosidad	0.0009	0.0734	0.9480
Suavidad	0.0415	0.0302	0.8198

Anexo .32 Análisis de varianza de la evaluación sensorial de carne del lomo de corderos suplementados con Mg y Se.

Variable de respuesta	R ²	CV	P>	Error	
				CM	gl
calidad general	0.0410	39.713	0.2392	10.887	100
Sabor	0.0265	43.198	0.440	12.078	100
Olor	0.1135	37.752	0.0070	9.943	100
Color	0.0629	36.215	0.0885	9.836	100
Jugosidad	0.0383	41.800	0.2694	10.942	100
Suavidad	0.0296	42.150	0.3881	14.554	100

Anexo 33. Análisis de contrastes de la evaluación sensorial de carne del lomo de corderos suplementados con Mg y Se

Variable de respuesta	P > F		
	Mg	Se	MgxSe
calidad general	0.0688	0.4090	0.6461
Sabor	0.7634	0.1944	0.3383
Olor	0.0081	0.6353	0.0236
Color	0.3371	0.8749	0.0183
Jugosidad	0.4357	0.1684	0.2316
Suavidad	0.7997	0.0954	0.6950

El jurado designado por la División de Ciencias
Biológicas de las Unidades Iztapalapa y Xochimilco aprobó
la tesis que presentó

LUZ MARINA HERNÁNDEZ CALVA

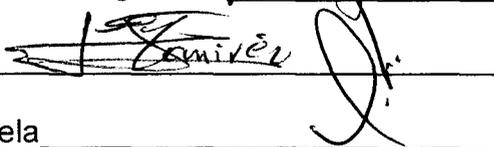
El día 15 de Octubre de 2007

Comité Tutorial:

Director: Dra. María Isabel del Carmen Guerrero Legarreta



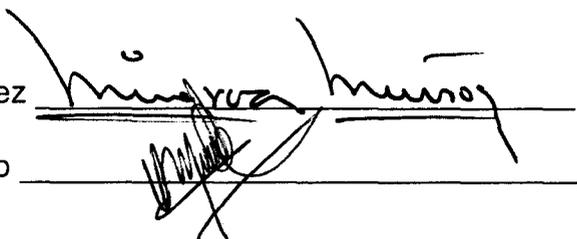
Codirector: Dr. Efrén Ramírez Bribiesca



Asesor: Dra. María de Lourdes Pérez Chabela



Sinodal: Dra. Minerva Muñoz Gutiérrez



Sinodal: Dr. Omar Hernández Mendo



Representante del Comité de Doctorado en Ciencias Biológicas:

Dr. German Mendoza Martínez

