



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON SELENIO

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

LINO RIGOBERTO CÁRDENAS RAMÍREZ

Bajo la supervisión de: **CARLOS SÁNCHEZ DEL REAL, M.C.**



ABRIL 2015

Chapingo, Estado de México

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
COORDINACIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON SELENIO

Tesis realizada por **LINO RIGOBERTO CÁRDENAS RAMÍREZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

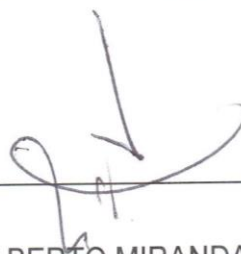
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



M.C. CARLOS SÁNCHEZ DEL REAL

ASESOR:



DR. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

ASESOR:



DR. JOSÉ ARTEMIO CADENA MENESES

CONTENIDO

Página

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIAS	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
RESUMEN GENERAL	xi
GENERAL ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia de la nutrición de minerales en los rumiantes	3
2.2 Importancia del selenio en la nutrición de rumiantes	4
2.3 Biodisponibilidad del selenio	6
2.4 Absorción y metabolismo del selenio	7
2.5 Metabolismo ruminal del selenio	10
2.6 Trastornos relacionados con la deficiencia de selenio en rumiantes ...	12
2.7 Adición de selenio a la dieta de rumiantes	12
2.8 Selenio en el perfil de proceso de engorda de rumiantes	15
2.9 Concentración de selenio en tejido y en carne	16
2.10 Selenio y la respuesta inmune	19
2.11 Literatura citada	21
3. VARIABLES FERMENTATIVAS RUMINALES DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON SELENIO	30
3.1 Resumen	30
3.2 Abstract	31

3.3	Introducción	32
3.4	Materiales y métodos.....	33
3.5	Resultados y discusión	36
3.6	Conclusión	48
3.7	Literatura citada	49
4.	PERFIL DEL PROCESO DE ENGORDA DE CORDEROS AL VARIAR FUENTE Y CONCENTRACIÓN DE SELENIO EN LA DIETA	52
4.1	Resumen	52
4.2	Abstract.....	53
4.3	Introducción	54
4.4	Materiales y métodos.....	55
4.5	Resultados y discusión	58
4.6	Conclusión	65
4.7	Literatura citada	65
5.	PROTEÍNAS SÉRICAS, SELENIO EN SUERO Y EN CARNE DE OVINOS AL SUPLEMENTAR SELENIO EN LA DIETA	67
5.1	Resumen	67
5.2	Abstract.....	68
5.3	Introducción	69
5.4	Materiales y métodos.....	70
5.5	Resultados y discusión	72
5.6	Conclusión	80
5.7	Literatura citada	80

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Ingredientes y composición nutricional de la dieta base para corderos.....	33
Cuadro 2. Contrastes utilizados en el análisis de datos generados en la fase experimental	35
Cuadro 3. Estadísticas descriptivas del volumen máximo de gas en líquido ruminal de corderos en el periodo de adaptación.	37
Cuadro 4. Parámetros de fermentación y volumen fraccional de gas de fermentación y digestibilidad <i>in vitro</i> de la dieta para corderos.....	37
Cuadro 5. Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃), pH y ácidos grasos volátiles (AGV) en líquido ruminal de los corderos	38
Cuadro 6. Parámetros de fermentación y volumen fraccional de producción de gas por la fermentación <i>in vitro</i> de la dieta para corderos.	39
Cuadro 7. Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃), pH y ácidos grasos volátiles (AGV) en líquido ruminal de corderos suplementados con dos fuentes de selenio en tres concentraciones.....	40
Cuadro 8. Parámetros de fermentación y volumen fraccional de producción de gas por la fermentación <i>in vitro</i> de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio en tres concentraciones.	41
Cuadro 9. Ingredientes y composición nutricional de la dieta base para corderos.....	56
Cuadro 10. Características productivas de los corderos. Medias ± error estándar.....	58
Cuadro 11. Consumo de alimento por periodo en los corderos. Medias ± error estándar.....	59

Cuadro 12. Ganancia de peso por periodo en los corderos. Medias $\pm$ error estándar.....	60
Cuadro 13. Conversión alimenticia por periodo en los corderos, consumo ganancia ⁻¹ . Medias $\pm$ error estándar.	61
Cuadro 14. Rendimiento en canal y grosor de grasa dorsal de los corderos. Medias $\pm$ error estándar.....	62
Cuadro 15. Ingredientes y composición nutricional de la dieta base de los corderos.....	70
Cuadro 16. Medias de los niveles de selenio en suero y los niveles de proteínas séricas de los corderos, en tres tiempos de muestreo durante la fase experimental.....	73
Cuadro 17. Efecto de los tratamientos con selenio en los niveles de selenio en suero (mg L ⁻¹) y en carne (μ g Se/100 g) de los corderos. Medias $\pm$ error estándar.....	73
Cuadro 18. Efecto de los tratamientos con selenio en los niveles de proteínas séricas (mg mL ⁻¹) de los corderos. Medias $\pm$ error estándar.....	74

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Metabolismo del selenio en los mamíferos	9
Figura 2. Producción de gas <i>in vitro</i> a 72 horas de incubación.....	36
Figura 3. Volumen máximo de gas de fermentación <i>in vitro</i> de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na_2SeO_3 ; selenio orgánico, Sel-plex®).....	42
Figura 4. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na_2SeO_3 ; selenio orgánico, Sel-plex®).	42
Figura 5. Volumen fraccional de gas (V_{f0-6}) de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na_2SeO_3 ; selenio orgánico, Sel-plex®).	43
Figura 6. Tasa de fermentación <i>in vitro</i> de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na_2SeO_3 ; selenio orgánico, Sel-plex®).	44
Figura 7. Fase de retardo o lag de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na_2SeO_3 ; selenio orgánico, Sel- plex®).	44

DEDICATORIA

A Dios

por permitirme estar en este mundo, disfrutando y aprendiendo a cada instante.

A dos grandes personas, el Sr. Hermenegildo Cárdenas Coello y la Sra.
Fidelina Ramírez López, que son mis Padres y pilares de mi vida.

A mis hermanas Aroni y Lorena, por el apoyo incondicional, amor y consejos
que me han brindado.

A mis sobrinos: Kaira, Antonia, Esmeralda Guadalupe, José Alberto y Juan
Alberto, por alegrar a la Familia.

A mis cuñados Lalo y Floriberto, por los consejos brindados.

Gracias por estar en mi vida y en todo momento que los he necesitado.

Gracias a todos los que creyeron y depositaron su confianza en mí.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico necesario para realizar mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por las facilidades y servicios brindados al realizar mis estudios de Maestría.

Al Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia por los apoyos brindados.

Al Posgrado en Producción Animal por haberme permitido formar parte del grupo de estudiantes de maestría de la generación 2013-2014, y formarme como Maestro en Ciencias.

Al M.C. Carlos Sánchez del Real, Dr. Luis Alberto Miranda Romero y al Dr. José Artemio Cadena Meneses por su valioso tiempo empleado en la coordinación y asesoramiento para la realización de esta tesis, por que sin ellos no hubiese sido posible.

A mis compañeros de Maestría: Blanca, Erick y David por apoyarme en la fase experimental de este proyecto y brindarme una gran amistad.

A todas las persona que de una u otra manera me apoyaron con esta investigación.

Muchas Gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales



Nombre	Lino Rigoberto Cárdenas Ramírez
Fecha de nacimiento	23 de septiembre de 1989
Lugar de nacimiento	Nicolás Ruiz, Chiapas
CURP	CARL890923HCSRMN05
Matricula cartilla militar	C. 9832526
Profesión	Ingeniero Agrónomo
Cédula profesional	7982459

Desarrollo académico

Preparatoria	Colegio de Bachilleres de Chiapas (2004-2007).
Licenciatura	Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V, Universidad Autónoma de Chiapas (2007-2011).
Maestría en Ciencias	Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo (2013-2014).

RESUMEN GENERAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON SELENIO

Se determinó el efecto de la fuente de selenio (orgánico e inorgánico) a dosis de 0.3, 0.6 y 0.9 mg selenio kg^{-1} de alimento en: la fermentación ruminal (FR), el perfil del proceso de engorda (PPE), los niveles de proteína (NPS), selenio en suero (NSS) y en carne de ovinos de engorda. En la FR el pH, N-NH₃, Vm, DIVMS, y los volúmenes fraccionales de gas de fermentación incrementaron ($P < 0.05$); y las proporciones de los ácidos acético y butírico disminuyeron ($P < 0.05$), conforme aumentó el periodo de engorda. La suplementación con selenio redujo ($P < 0.05$) el pH y N-NH₃, sin efecto por la fuente de selenio ($P > 0.05$). El Vm y Vf_{0-6 h} incrementaron linealmente y la DIVMS disminuyó cuadráticamente de acuerdo con el incremento de la dosis de selenio. En el PPE, únicamente se presentó la tendencia ($P = 0.08$) a incrementar el consumo de materia seca en los grupos de corderos que fueron suplementados con selenio en comparación con el grupo que no se suplementó. En las NPS, los niveles de albúmina fueron mayores cuando se suplementó con selenio inorgánico a dosis de 0.6 y 0.9 mg selenio kg^{-1} MS y con selenio orgánico a dosis de 0.3 mg selenio kg^{-1} MS; sin embargo, con este último se observó un nivel menor de alfa globulina ($P < 0.05$). Los NSS y las concentraciones de selenio en carne, fueron afectados por la suplementación ($P < 0.05$), únicamente para la región del *Longissimus dorsi*. La inclusión de selenio a dietas para la engorda intensiva de corderos promueve la fermentación y la eficiencia de utilización de los compuestos nitrogenados en rumen, pero deprime la DIVMS de la dieta; aunque no mejora el PPE, promueve el aumento de los NSS y facilita la acumulación de selenio en carne, la cual al consumirla se aportará selenio a la dieta de los consumidores.

Palabras claves: selenio, fermentación ruminal, suero, carne, corderos.

GENERAL ABSTRACT

PRODUCTIVE PERFORMANCES AND CARCASS CHARACTERISTIC OF SHEEP SUPPLEMENTED WHIT Selenium

The effect of source (organic and inorganic) of selenium at doses of 0.3, 0.6 and 0.9 mg selenium kg⁻¹ of diet was determined on: ruminal fermentation (RF), the profile of the process of fattening (PPF), protein levels (PL), selenium in serum (SS) and meat of fattening sheep. During RF, the pH, N-NH₃, Mv, DIVMS and fractional volumes of fermentation gas increased ($P < 0.05$); while the proportions of acetic and butyric acids decreased ($P < 0.05$) as the day of fattening increased. Supplementation with selenium reduced ($P < 0.05$) pH, N-NH₃ without effect of the selenium source ($P > 0.05$). The Vm and Vf_{0-6h} lineally increased and the DIVMS diminished in a quadratic way in accordance with the increment of selenium dose. In the PPF, there was a tendency ($P = 0.08$) to increase the dry matter intake in the lamb groups supplemented with selenium when compared to the non-supplemented ones. In the PL, the albumin levels were higher when supplemented with inorganic selenium at 0.6 and 0.9 mg selenium kg⁻¹ MS and with organic selenium at 0.3 mg selenium kg⁻¹ MS; however, with the latter it was observed a lower alphaglobulin level ($P < 0.05$). The SS and the selenium concentrations in meat were effected by Se supplementation ($P < 0.05$), but only at the *Longissimus dorsi* area. The selenium inclusion on diets for intensive lamb fattening promotes fermentation and an efficient use of the nitrogen compounds in rumen, but diminishes the DIVMS on diet; eventhough the FPP does not improve, it promotes the increment in SS and makes the selenium accumulation in meat easier which may be also part of the consumers' diet.

Key words: selenium, ruminal fermentation, serum, meat, lamb.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El inventario ovino en México es de 8 477 000 cabezas (FAOSTAT, 2013), teniendo la mayor producción de carne en el Estado de México (16 710 t), seguido de Hidalgo (14 544 t), Veracruz (9 568 t), Zacatecas (8 263 t) y Puebla (7 982 t) (SIAP, 2013). La producción de ovinos está dada por la eficiencia de conversión de los alimentos en productos de valor económico, es decir, carne, lana y leche (Chiba, 2014). La alimentación representa el 60% o más de los costos de producción de una granja (Kleinschmidt, 2009). Los ovinos requieren de fibra, agua, energía, proteínas, vitaminas y minerales en la dieta. Los minerales son importantes para la nutrición del ovino, ya que participan en diversos procesos biológicos y tienen funciones estructurales, catalíticas y reguladoras en el organismo, como tal, influyen en el estado de salud del animal (Underwood y Suttle, 1999).

Se considera que los elementos minerales esenciales que deben suplementarse con la dieta son: el calcio, fósforo, sodio, magnesio, cobalto, cobre, selenio y zinc (McDowell, 1992). Por el origen volcánico del suelo en México, la mayor parte del territorio tiene deficiencia de selenio, lo cual se traduce en cuadros clínicos y subclínicos de enfermedad del músculo blanco, en particular en rumiantes (Ramírez *et al.*, 2001; Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2004) lo que obliga a suplementar este elemento.

Con el fin de garantizar un suministro adecuado de selenio, los ovinos deben ser suplementados con este elemento en la forma adecuada. Cabe señalar que el selenio suplementario no es utilizado completamente por el organismo del animal, como todo nutriente que llega al rumen con el alimento, una fracción escapa a la asimilación por microorganismos ruminales, pero otro tanto es utilizado y biotransformado por los microorganismos, lo cual puede afectar el metabolismo ruminal de carbohidratos, pero una parte se recicla en rumen y la otra pasa junto con la proteína microbiana pasante (Serra *et al.*, 1994).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fuente (orgánico e inorgánico) y dosis de selenio (0.3, 0.6 y 0.9 mg selenio kg⁻¹ de alimento) en el pH, N-NH₃, AGV ruminal, en los parámetros de la cinética de fermentación, en los volúmenes fraccionales de gas, en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, en los niveles de proteínas séricas y de selenio en suero de ovinos de engorda; así como el beneficio que pueda tener en el perfil del proceso de engorda y en la acumulación de este mineral en la carne de los ovinos.

En el Capítulo 2 del presente documento se presenta una revisión de literatura, donde se analiza la importancia que tiene la suplementación de selenio en los ovinos, mediante el conocimiento de las funciones de este mineral en el organismo, así como los efectos en el comportamiento productivo y características de la canal en el animal. Además, se describen las posibles formas y fuentes de suplemento de este elemento, así como la biodisponibilidad que tiene en el organismo del animal.

En el Capítulo 3 se presenta una investigación donde se determinaron los cambios en los parámetros de fermentación y digestibilidad *in vitro*, inducidos al suplementar a corderos con dos fuentes selenio a tres dosis, con el fin de conocer los efectos en las funciones metabólicas del rumen que pudieran afectar de forma directa o indirecta al cordero.

En el Capítulo 4 se presenta un estudio donde se describe el perfil del proceso de engorda de corderos mediante la determinación de las características productivas y de la canal al ofrecer dietas con diferente fuente y contenido de selenio.

En el Capítulo 5 se presenta un estudio donde se determina los niveles de proteínas séricas, los niveles de selenio en suero y las concentraciones de selenio en carne de ovinos al ser suplementados con selenio en el alimento.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la nutrición de minerales en los rumiantes

La célula puede contener trazas de elementos presentes en su entorno, aunque sólo veinticinco elementos de la tabla periódica se consideran indispensables para la vida. De éstos, once se conocen como elementos macroconstituyentes, a causa de las cantidades en las que se presentan. Los otros catorce elementos también son indispensables para la vida, pero que están presentes sólo en pequeñas cantidades y por tanto se llaman microconstituyentes o elementos traza, que no tienen ninguna función estructural, pero son cofactores insustituibles en moléculas biológicamente activas (Annicchiarico y Taibi, 2004).

Los macrominerales se necesitan en cantidades relativamente grandes en comparación con los microelementos. En general, se requieren minerales macro a concentraciones mayores de 100 mg kg⁻¹ de la dieta y a menudo se expresan como un porcentaje de la dieta; mientras que los minerales traza son necesarios en concentraciones menores que 100 mg kg⁻¹ (McDowell, 1992).

Los macro-minerales tales como Ca, P, K, S, Mg, Na y Cl; y los minerales traza tales como Cu, Zn, I, Mn, Se, Co y Fe, se consideran esenciales para los rumiantes. Si no se suplementa las cantidades correctas de estos minerales, se puede llegar a producir enfermedades metabólicas específicas o toxicidad. Varios de los desequilibrios minerales comúnmente observados en los rumiantes se deben a desequilibrios en minerales traza. Para promover el crecimiento del tejido normal, la homeostasis, la función de la enzima, la regulación celular y la función inmune, es indispensable que los minerales traza se mantengan en concentraciones específicas dentro del cuerpo (Underwood y Suttle, 1999).

La suplementación de minerales a los rumiantes ha demostrado que tiene efectos positivos sobre la reproducción, el estado inmunitario, el consumo de alimento y comportamiento productivo (Johansson *et al.*, 1990; Gabryszak y Klewiec, 2002). Los minerales traza son necesarios para la síntesis de la vitamina, la producción

de hormonas, actividad de la enzima, la formación de colágeno, la síntesis de tejido, el transporte de oxígeno, producción de energía y otros procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento, la reproducción y la salud. El requisito de minerales traza se basa a menudo en la capacidad del animal para mantener un nivel deseado de rendimiento (Underwood y Suttle, 1999).

La importancia de los minerales y en particular de los microelementos en la nutrición y la salud animal ha sido revalorada en las últimas décadas. La relación de su deficiente o excesivo aporte con la presentación de cuadros de enfermedad explica parte de este interés, por lo que se ha renovado el interés por estudiar su fisiología, biotransformación, biodisponibilidad, patogenia de la deficiencia o de intoxicación, fuentes y métodos de suplementación (Elghany y Tórtora, 2008).

2.2 Importancia del selenio en la nutrición de rumiantes

El selenio, en forma de selenocisteína, es el componente de la estructura central de una serie de enzimas específicas (glutación peroxidasa, tioredoxina, deyodinasas, selenofosfato sintetasa) que participan en reacciones redox, por lo que es un oligoelemento esencial para los seres humanos y los animales. La importancia del selenio está asociada principalmente con la actividad de la glutación peroxidasa (GSH-Px), que proporciona defensas contra el estrés oxidativo, catalizando la reducción de hidroperóxidos orgánicos; además desempeña un papel importante en el sistema reproductivo, endocrino e inmunológico de los animales (Suttle, 2010).

De las glutación peroxidases que reducen peróxido de hidrógeno y peróxido lipídico, se conocen cuatro, de las cuales la GSH-Px1 es la enzima más estudiada y abundante de los eritrocitos, que protegen a la hemoglobina del daño oxidativo y existe en casi todo los tejidos (Lei *et al.*, 2007). Las enzimas que participan en el metabolismo de las hormonas tiroideas, transformando tiroxina (T4) a triyodotironina (T3) son las deyodinasas (Köhrle, 2000).

Las tioredoxina reductasas catalizan la producción de tioredoxina reducido a partir de tioredoxina oxidado, el cual es necesario para varios sistemas dependientes de reacciones redox y en la regulación del crecimiento celular e inhibición de apoptosis. La enzima que participa en la síntesis de selenofosfato, donador de selenio para la síntesis de selenocisteína es la selenofosfato sintetasa (Burk *et al.*, 2003).

La importancia del selenio como elemento esencial en la fisiología animal quedó demostrada en 1957, al indicarse que su deficiencia en asociación con deficiencia de la vitamina E, producía la enfermedad conocida como del “músculo blanco” (Muth *et al.*, 1958). En 1979 el selenio comenzó a ser adicionado a la dieta de los animales a dosis de 0.1 mg kg⁻¹ MS, en 1989 la recomendación por la NRC aumentó a 0.3 mg kg⁻¹ (Carbajal *et al.*, 2013).

El aporte adecuado de selenio, se ha demostrado relevante para asegurar la resistencia a la enfermedad y la eliminación de patógenos, el elemento se asocia a la integridad de diferentes mecanismos y células participantes en la respuesta inmune. La deficiencia en el elemento afecta los niveles de IgG y la función de las células T, factores que determinan mayor prevalencia y severidad de las enfermedades usualmente presentes en las poblaciones animales (John *et al.*, 2003). Presumiblemente la baja actividad de la glutatión peroxidasa GSH-Px reduce la vida media de los macrófagos, afecta los fenómenos de presentación antigénica y las respuestas humorales, con menor concentración de inmunoglobulinas (Aziz *et al.*, 1984). Se ha administrado selenio en diferentes formas como inmunoestimulante y se han observado efectos en la capacidad de respuesta inmune de los animales y en la calidad del calostro producido (Jendryczko, 1994). El selenio actúa en diversas funciones corporales, como el crecimiento, reproducción, la prevención de enfermedades y la integridad de los tejidos. Las funciones del selenio en el metabolismo están fuertemente relacionadas con la vitamina E ya que ambos protegen las membranas celulares contra la degeneración y muerte de los tejidos, actuando como antioxidantes (McDowell *et al.*, 1993). En cantidades muy pequeñas, el selenio estimula los

procesos vitales, es un elemento indispensable para el funcionamiento normal del sistema inmune, músculos, corazón, hígado, riñones, páncreas, testículos, plasma, glóbulos rojos y otros órganos como la tiroides; es también muy importante para mantener la integridad de las membranas celulares. Colabora en la absorción de lípidos y tocoferoles en el tracto digestivo, a través de la lipasa pancreática. Forma parte de algunas enzimas de los microorganismos del rumen. El selenio actúa también, por su alta actividad química, como un removedor de los metales pesados, de la bioquímica del organismo animal, tiene efecto desintoxicante frente al Cd, Hg, Al, As, Ag y Pb (Villanueva, 2011).

2.3 Biodisponibilidad del selenio

Se han publicado muchos datos en las últimas dos décadas sobre la biodisponibilidad de los distintos compuestos de selenio. Los resultados son contradictorios. Una de las razones por las que varían los datos sobre biodisponibilidad es los medios de evaluación utilizados por cada autor. El término biodisponibilidad se define como el grado en que un nutriente ingerido es absorbido en una forma que puede ser utilizado en el metabolismo por el animal (Ammerman *et al.*, 1995). La biodisponibilidad de minerales ligados orgánicamente en los rumiantes se ha demostrado ser superior a la de fuentes inorgánicas (Kincaid *et al.*, 1997; Spears, 2003).

Los criterios que se han utilizado para evaluar la biodisponibilidad del selenio incluyen la actividad de GSH-Px (Gabrielsen y Opstvedt, 1980b), las concentraciones de selenio en tejidos (Osman y Latshaw, 1976), y la prevención de los síntomas de deficiencia de selenio (Cantor *et al.*, 1975a, b).

El selenito de sodio es la referencia estándar comúnmente usada para evaluar la biodisponibilidad de selenio, con base en la utilización inmediata para sus funciones biológicas (Henry y Ammerman, 1995). Según autores como Podoll *et al.* (1992) y Ortman y Pehrson (1999), la biodisponibilidad del selenio para incrementar su concentración en la leche y la actividad de glutatión peroxidasa en suero, es similar para selenito y selenato de sodio en bovinos y en ovinos.

El selenio de levadura enriquecida tiene mayor biodisponibilidad respecto a fuentes inorgánica, en términos de su capacidad para elevar y mantener la concentración de selenio en sangre (Ortman y Pehrson, 1999), plasma, leche y del músculo en comparación con selenito de sodio (Osman y Latshaw, 1976; Knowles *et al.*, 1999; Mahan *et al.*, 1999; Davis *et al.*, 2002; Qin *et al.*, 2007; Juniper *et al.*, 2008a).

Los rumiantes absorben el selenio con menos eficiencia y con mayor variabilidad que los no rumiantes (Underwood y Suttle, 1999). La mayoría del selenio ingerido sale del rumen junto con el material insoluble (principalmente la fracción bacteriana) al duodeno. Las diferencias en el gradiente de absorción pueden atribuirse a la variabilidad en la incorporación del selenio dentro de las membranas celulares de algunas especies de microorganismos ruminales (Koenig *et al.*, 1997).

2.4 Absorción y metabolismo del selenio

La absorción del selenio en el intestino se ve afectada por la forma del selenio en la dieta (Sunde, 1997). En número de estudios realizados en varias especies animales, incluyendo ovejas, cerdos (Wright y Bell, 1966) y ratas (Whanger *et al.*, 1976) se confirmó que el duodeno es el sitio donde se absorbe mayor parte del selenio de la dieta, independientemente de la fuente. El selenio que se encuentra naturalmente en los alimentos esta en gran parte como selenoaminoácidos, con selenometionina, siendo más del 50% del total de selenio en muchos ingredientes de las dietas, lo cual cumple los criterios de un aminoácido esencial (Schrauzer, 2003). El selenio inorgánico se complementa generalmente en las dietas de animales como selenito de sodio, que es absorbido a través del intestino delgado por difusión simple, mientras que selenometionina se absorbe activamente por el mismo sistema de transporte de aminoácidos como metionina (Sunde, 1997). Ambas formas de selenio se absorben bien en animales monogástricos. La absorción del selenio es más pobre en rumiantes y esto se debe a la reducción del selenio a formas insolubles en el medio ambiente ruminal (Spears, 2003). La absorción del selenio no está regulado por la concentración de selenio en la dieta

o el estatus de selenio, la homeostasis del selenio está regulado principalmente por la excreción urinaria de este mineral (Schlegel *et al.*, 2008).

La absorción y asimilación de selenio dependen de su forma. Después de la absorción, el selenito de sodio y la selenometionina se metabolizan de manera diferente (Sunde, 1997). El selenito de sodio se reduce a seleniuro, y se puede utilizar para la síntesis de selenocisteína (SeCys), o puede ser metilado y excretado en la orina. La selenocisteína es la forma del selenio presente en las selenoenzimas como la glutatión peroxidasa (GSH-Px). La selenometionina puede ser incorporada en las proteínas en lugar de metionina, o ser reformado para SeCys. Los niveles de metionina en la dieta afecta a la medida en que selenometionina se incorpora en las proteínas generales (Butler *et al.*, 1989).

La vía del metabolismo del selenito de sodio (Figura 1) fue resumida por Sunde (1997). En primer lugar, el selenato se convierte en selenito; éste es luego reducido no enzimáticamente por el glutatión a selenio elemental, formando seleno-diglutation (Ganther, 1966). Con la falta de oxígeno, el seleniuro está formado por la glutatión reductasa de selenio-diglutation (Hsieh y Ganther, 1975); donde puede tomar varias rutas. El seleniuro puede ser utilizado para la síntesis de selenocisteína, o metilado y excretado en la orina. También puede formar parte de la síntesis de selenoproteínas por tRNA, que convertirá el selenio inorgánico a su forma ligado orgánicamente, que se encuentra en tejidos de mamíferos (Sunde, 1997).

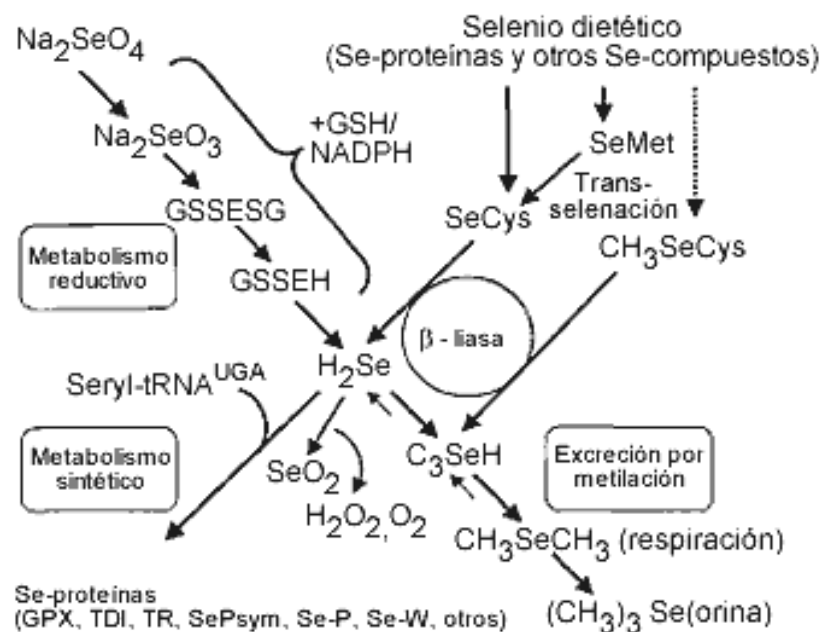


Figura 1. Metabolismo del selenio en los mamíferos

Según Sunde (1997) el selenio unido orgánicamente se metaboliza de manera diferente al selenito de sodio. La selenometionina puede ser incorporada en las proteínas en lugar de metionina (Hoffman *et al.*, 1970; McConnell y Hoffman, 1972), ésta puede ser entonces metabolizada a Se-adenosilmetionina, y luego a Se-adenosilhomocisteína (Markham *et al.*, 1980). El Se-adenosilhomocisteína puede ser convertido en selenocisteína y entonces ser degradado. El proceso de degradación de la selenocisteína libera selenito, o ser degradado de forma diferente a selenio elemental, que puede reducirse aún más a seleniuro (Esaki *et al.*, 1982). El metabolismo de la selenometionina puede seguir otra ruta tal como se describe por Steele y Benevenga en 1979, donde la selenometionina es transaminado para metanoselenol. El metanoselenol puede convertirse entonces aún más en seleniuro, desde donde el metabolismo seguirá la ruta como se describe anteriormente (Sunde, 1997).

El selenio orgánico es mejor absorbido y utilizado en los rumiantes en comparación con las fuentes inorgánicas (Gunter *et al.*, 2003; Guyot *et al.*, 2007). En corderos se ha observado mayor retención de selenio al ser suplementados con la fuente orgánica en comparación con la inorgánica (Ehlig *et al.*, 1967). En

bovinos, el consumo de levadura enriquecida con selenio incrementó la concentración de selenio en sangre, plasma y leche respecto a selenito y selenato de sodio (Knowles *et al.*, 1999; Ortman y Pehrson, 1999; Davis *et al.*, 2002). Sin embargo, en otro estudio donde se utilizó selenito de sodio y levadura enriquecida con selenio, se observó mayor absorción y retención de selenio a partir de la fuente inorgánica, indicando que las formas inorgánicas pueden ser tan disponibles como las fuentes orgánicas (Koenig *et al.*, 1997).

Las comparaciones entre levadura enriquecida con selenio y fuentes inorgánicas de selenio en el ganado de engorda se han centrado principalmente en la retención del selenio en el tejido muscular y el consiguiente efecto sobre la estabilidad oxidativa de la carne de vacuno (Juniper *et al.*, 2008b), así como de la tolerancia de los animales para la administración de dosis supranutricional como una estrategia para producir un producto de carne enriquecida con selenio (Juniper *et al.*, 2008a).

2.5 Metabolismo ruminal del selenio

La absorción del selenio en los rumiantes es menor que en los no rumiantes, esto debido a los microorganismos del rumen. Gran parte del selenio de la dieta se reduce a formas insolubles por los microbios del rumen, reduciéndose mayormente las fuentes inorgánicas. (Cousins y Cairney, 1961; Peterson y Spedding, 1963; Whanger *et al.*, 1968). En una dieta alta en carbohidratos es más favorable la conversión de selenio a formas insolubles que en una dieta alta en fibra (Whanger *et al.*, 1968). Uno de los productos de la fermentación ruminal de carbohidratos es el ion hidrógeno (H^+) el cual es sustrato de bacterias metanogénicas, para la síntesis de metano (Baldwin y Allison, 1983). Esto hace al ambiente ruminal propicio para la reducción de selenio inorgánico. Dos moles de H^+ son consumidos por mol de selenito reducido a selenio elemental, mientras que un mol más de H^+ es usado para reducir Se elemental a selenuro (Kim *et al.*, 1997). La cantidad de selenio reducido en rumen aumenta conforme el consumo de materia orgánica es mayor (Langlands *et al.*, 1986).

A pesar de que los microbios del rumen convierten una porción del selenio a formas insolubles, también incorporan selenio en sus proteínas. Paulson *et al.* (1968b) demostraron que la selenometionina es incorporada en la proteína bacteriana cuando el fluido ruminal se incubó *in vitro* con este compuesto. La caracterización de los compuestos que contienen ^{75}Se en microbios del rumen reveló la presencia de ^{75}Se -selenometionina después de la incubación con ^{75}Se -selenito *in vitro* (Hidiroglou *et al.*, 1968). Por lo tanto, los microbios del rumen parecen ser capaz de convertir el selenio inorgánico a compuestos orgánicos de selenio, así como para incorporar compuestos orgánicos de selenio en las proteínas bacterianas.

La incorporación de selenio en proteínas bacterianas está relacionada con el consumo previo del elemento; la actividad de ^{75}Se por gramo de proteína bacteriana es mayor con una dieta deficiente en selenio que con una no deficiente (Hidiroglou *et al.*, 1968). Sin embargo, cuando el contenido de selenio es expresado por unidad de masa bacteriana la concentración de selenio es mayor en ovinos que reciben selenito o selenato que en ovinos sin selenio adicional (Serra *et al.*, 1994).

Las bacterias incorporan selenio principalmente en forma de selenometionina (Hidiroglou *et al.*, 1968), pero se ha encontrado selenocisteína y selenohomocisteína en cultivos de *Selenomonas ruminantium* y *Butirivibrio fibrisolvens* (Hudman y Glenn, 1984). El selenio orgánico en bacterias ruminales puede estar disponible para su absorción al llegar al intestino delgado.

El selenio también puede influir en la fermentación ruminal en función de la concentración, fuente y el tipo de sustrato. Al incubar *in vitro* medios de cultivos anaerobios con 0.2 y 2 mg de selenio usando selenometionina, con y sin salvado de trigo; la concentración total de ácidos grasos volátiles (AGV) con 2 mg de selenio a las 12 h de fermentación fue 17% y 19% superior respecto a 0 y 0.2 mg de selenio, mientras que a las 24 h fue 35% y 47% superior. Con salvado de trigo la adición de 2 mg de selenio disminuyó significativamente la producción total de AGV únicamente a las 12 h de fermentación (Kim *et al.*, 1997). En corderos que

recibieron 0.2 mg de selenio en la dieta de selenito y selenato, no hubo efecto sobre la producción de masa bacteriana en el rumen, aunque disminuyó 18% la tasa microbiana con respecto al testigo sin selenio; los tratamientos no cambiaron la concentración total de AGV (Serra *et al.*, 1994).

2.6 Trastornos relacionados con la deficiencia de selenio en rumiantes

En los ovinos, la deficiencia de selenio se ha relacionado con una serie de enfermedades, que incluyen la enfermedad del músculo blanco y supresión de la inmunidad (Rock *et al.*, 2001). Los estudios realizados por Ramírez-Bribiesca *et al.* (2004) afirman que la degeneración del músculo blanco se considera la principal causa de muerte en los primeros veinte días de edad en áreas con deficiencia de selenio en corderos y cabritos.

Los problemas reproductivos (retención placentaria, endometritis, quistes ováricos y baja tasa de concepción) en vacas y ovejas se ha asociado con la deficiencia de selenio. La aplicación intramuscular de selenio y vitamina E en vacas antes del parto ha mejorado 10% el periodo de expulsión placentaria, periodo de involución uterina y número de servicios por concepción (Hemingway, 2003).

Los trabajos de Smith *et al.* (1977) y Sánchez *et al.* (2007) muestran que la administración de selenio en regiones deficientes disminuye la cantidad de células somáticas y el porcentaje de incidencia de mastitis clínica en cabras y vacas lecheras. La deficiencia de selenio también afecta la respuesta inmune ya que disminuye la actividad de la glutatión peroxidasa, la cual protege a los neutrófilos de los radicales que ellos mismos producen para destruir a los microorganismos patógenos (Arthur *et al.*, 2003).

2.7 Adición de selenio a la dieta de rumiantes

Los trastornos relacionados con la deficiencia de selenio en rumiantes pueden ser prevenidos suplementando a los animales en las regiones y poblaciones diagnosticadas como deficientes. La suplementación de los animales puede

realizarse adicionando selenio a la dieta (premezclas), al agua, las sales minerales, bolos intrarruminales o mediante soluciones inyectables, la elección de la forma de suplementación dependerá de las condiciones productivas y la consecuente facilidad para su utilización (Kott *et al.*, 1983; McPherson y Chalmers, 1984).

El selenio puede ser eliminado, dada su volatilidad, cuando los alimentos son refinados o procesados. Se ha señalado incluso la posibilidad de fertilizar los suelos pobres con selenio, sin embargo los niveles y momentos de suplementación continúan en discusión en gran parte por desconocimiento del comportamiento biológico del elemento y por la posibilidad de inducir situaciones de intoxicación (Stowe y Herdet, 1992).

Excepto en los inyectables, en los demás casos es posible utilizar selenometionina (selenolevaduras) y sales inorgánicas del elemento (selenatos y selenitos). Las fuentes de selenio son inorgánicas y orgánicas. Las primeras involucran selenito de sodio, selenato de sodio y selenato de bario. Las segundas son compuestos como selenometionina y selenocisteína (Suttle, 2010).

Las formas inorgánicas de selenio son el selenito y el selenato de sodio, estas dos fuentes son utilizadas con frecuencia como suplemento en humanos y animales. Tienen una biodisponibilidad reducida en el rumiantes debido a las condiciones anaeróbicas en el rumen. Aunque parte de la forma oxidada de selenio (selenito de sodio) se reduce en el rumen a las formas no absorbibles de seleniuro elementales o inorgánicas, que no se absorbe a través del rumen o del tracto intestinal, el selenito de sodio consumido es utilizado por los microbios del rumen para su metabolismo. La proteína microbiana así formada puede pasar en el intestino delgado y servir como una fuente de selenio dietético para el rumiante (Suttle, 2010).

La forma orgánica del selenio se encuentra mayormente en los alimentos. En las plantas una tercera parte del selenio está en diferentes formas de metilato de selenio, incluyendo el Se-metilo selenocisteína. El selenio orgánico se une a un

aminoácido sustituyendo al azufre por metionina o cisteína formando selenometionina o selenocisteína. Una parte de la selenometionina consumida es metabolizada directamente a formas reactivas de selenio, y otra parte es almacenada en proteínas en tejidos ocupando el lugar de la metionina. La selenometionina no puede ser sintetizada directamente de selenito o selenato por los animales (Schrauzer, 2000).

Existe tres formas de selenio orgánico de uso comercial como suplementos para el ganado: levadura de selenio (SeY), selenometionina (SeMet) y selenio-metalosates (mezclas de selenio inorgánico y aminoácidos). Los dos primeros se pueden considerar juntos, porque el selenio enriquecido en la levadura está en gran parte como selenometionina. Dado que algunas pruebas funcionales de disponibilidad muestran una tendencia a que selenometionina es menos disponible que el selenio inorgánico, es poco probable que haya alguna ventaja para el animal suplementado por proporcionar estas fuentes orgánicas más costosas (Suttle, 2010).

La información sobre el uso de diferentes fuente y formas de suplementación de selenio es poco precisa y muchas veces influida por el interés de imponer un determinado desarrollo tecnológico (Elghany y Tórtora, 2008). Se había establecido que un aporte adecuado de selenio en ovejas y cabras era la oferta de 0.1 a 0.3 mg selenio kg^{-1} MS de la dieta; sin embargo para el año 2007 se recomienda la dosificación de 0.5 mg selenio kg^{-1} MS de la dieta para pequeños rumiantes, con el máximo tolerable de 2 mg selenio kg^{-1} MS (NRC, 2007). Davis *et al.* (2008) mencionaron que el selenio se puede suplementar a ovinos a dosis alta sin llegar a provocar selenosis; estos autores observaron que los ovinos que recibieron 30 y 40 mg Se kg^{-1} MS de selenio orgánico, el peso corporal tendió a disminuir, pero los ovinos que recibieron 0.2 y 20 mg Se kg^{-1} MS de selenio inorgánico y orgánico, el peso aumentó 20%.

2.8 Selenio en el perfil de proceso de engorda de rumiantes

De acuerdo con Swecker *et al.* (1989) la suplementación del selenio puede mejorar el rendimiento de los animales, indirectamente mediante el fortalecimiento de su inmunocompetencia, permitiéndoles soportar mejor la condición de estrés de los sistemas de engorda intensivo; sin embargo, McClure y Mahan (1988) no observaron efecto sobre la tasa de crecimiento en la finalización de ovinos, cuando se suplementó con 0.25, 1.0 o 2.0 mg de selenito de sodio kg^{-1} MS. Domínguez-Vara *et al.* (2009) tampoco observaron diferencias en la tasa de crecimiento para ovinos en finalización al suplementar con 0.3 mg Se-levadura kg^{-1} MS. Johannes (2012) no obtuvo diferencias en las características productivas de ovinos Merino al ser suplementados con 0.36 mg Se kg^{-1} de MS, de selenio orgánico e inorgánico.

Mudgal *et al.* (2007) no obtuvieron efecto significativo sobre la ganancia de peso en los terneros de búfalas cuando suplementaron con 0.3 mg Se kg^{-1} de MS por 120 días. Sin embargo, existen informes con respuesta positiva de la suplementación de selenio en la tasa de crecimiento de los rumiantes, tal es el caso de Wichtel *et al.* (1994) que reportaron 15% mayor ganancia de peso en novillas al aplicar selenio de forma oral. Del mismo modo, Nicholson *et al.* (1991) observaron de 7 a 8% mayor tasa de crecimiento en terneros suplementados con 1 mg Se kg^{-1} de MS por un período de 112 días, ante el grupo sin suplementar. Vignola *et al.* (2009) señalan que al suplementar con selenito de sodio (0.3 mg Se kg^{-1} de MS) y selenio orgánico (0.3 y 0.45 Se kg^{-1} de MS) a ovinos, se obtiene únicamente efecto significativo en la variable de ganancia diaria de peso durante el periodo final (42-63 días), con mejor tasa de ganancia para los machos.

Kumar *et al.* (2009) al evaluar las características productivas de corderos Muzaffarnagari, suplementados con selenio a dosis de 0.15 mg kg^{-1} MS, obtuvieron diferencias en la ganancia diaria de peso, teniendo el mayor resultado con selenio orgánico (110 vs 98 $\text{g}^{-1} \text{ día}^{-1}$). Davis *et al.* (2008) observaron que los ovinos que recibieron 30 y 40 mg Se kg^{-1} MS de selenio orgánico, el peso corporal

tendió a disminuir, pero los ovinos que recibieron 0.2 y 20 mg Se kg⁻¹ MS de selenio inorgánico y orgánico, el peso aumentó 20%.

2.9 Concentración de selenio en tejido y en carne

La concentración de selenio que se puede encontrar en los tejidos corporales depende de un número de factores, como: la forma química, la longitud de tiempo durante el cual se consumió, la cantidad de selenio proporcionado por la dieta y la especie de animal. Aunque el selenio está presente en todos los tejidos, una concentración especialmente alta se encuentra en el hígado, el riñón y el bazo, y en menor medida, en el músculo esquelético, el músculo cardíaco, en intestino y pulmón. La concentración tisular de selenio está influenciada por la cantidad y forma química de selenio en la dieta (Pond *et al.*, 1995). Alrededor del 45% del total del cuerpo, el selenio está asociado con el músculo, 4.6% con el hígado y el 6.9% con los riñones (Grace, 1985).

En animales jóvenes, la concentración de selenio puede también depender del nivel de selenio de la dieta consumida por la madre. Cuando se adiciona selenito de sodio a la dieta de un animal joven, la concentración en el tejido aumenta como el nivel de selenio de la dieta va aumentando. El efecto no es el mismo con selenometionina, ya que la concentración de selenio en el tejido sigue subiendo con forme aumenta el nivel de adición en la dieta (Pond *et al.*, 1995). Latshaw (1975) informó que la concentración de selenio en hígado y en el músculo de pollo fue el doble cuando se adicionó selenio orgánico a la dieta en comparación cuando se adicionó selenito de sodio. Cantor *et al.* (1982) reportaron que la selenometionina aumentó en gran medida las concentraciones de selenio en el páncreas, músculo, y en la molleja de pollos.

El selenio desempeña un papel importante en el músculo (carne), no sólo para aumentar la disponibilidad de selenio para el consumo humano a través de los alimentos, sino también para mejorar la calidad de la carne (Grunert, 2006). Ehlig *et al.* (1967), Van Ryssen *et al.* (1989) y Qin *et al.* (2007), informan de una mayor

incorporación de selenio en el músculo esquelético con fuentes orgánicas en comparación con las fuentes inorgánicas.

Vignola *et al.* (2009) señalan que independientemente de la fuente de selenio, la suplementación con este mineral aumentó significativamente la concentración de selenio en *Longissimus dorsi* con respecto al tratamiento sin selenio. Además, el contenido de selenio mejoró notablemente a medida que la dosis de selenio aumentó. Un efecto de la fuente de selenio también fue evidente, al suplementar con 0.3 mg de selenio kg⁻¹ MS en ambas fuentes, se obtuvo mayor concentración de selenio en *Longissimus dorsi* de los corderos al recibir Se-levadura (0.66 mg kg⁻¹) en comparación con los que recibieron selenito de sodio (0.43 mg kg⁻¹).

Las fuentes orgánicas de selenio suministran el elemento a moléculas que contienen selenio, pero selenometionina también se deposita en proteínas corporales mediante la sustitución de metionina en las moléculas de proteína. En consecuencia, la concentración de selenio en los tejidos y fluidos corporales es mayor cuando se suplementa selenio en forma orgánica en comparación con la forma inorgánica (Van Ryssen *et al.*, 1989).

Daun y Åkesson (2004) compararon el contenido de selenio en dos tipos de músculos de cinco especies diferentes (pollo, pato, pavo, avestruz y cordero) y muestran en corderos que el contenido de selenio fue significativamente mayor en los músculos oxidativos (*Psoas mayor*) que en el músculo glucolítico (*L. dorsi*). Está claro que hay una respuesta en la acumulación de selenio a la suplementación de este mineral en la dieta, pero esta respuesta es dependiente del tejido y puede variar según las especies, los niveles de suplementación y la fuente de selenio (Vignola *et al.*, 2009).

Juniper *et al.* (2009) al suplementar con selenio a corderos por 112 días, reportan mayor concentración de selenio en *Longissimus thoracis* y *Psoas mayor*, cuando los corderos recibieron la suplementación de Se-levadura en comparación con selenito de sodio. Los valores reportados de la concentración de selenio en mg kg⁻¹ MS fueron de 0.61, 0.71, 0.80 en *Psoas mayor* y 0.59, 0.67, 0.78 en *L. thoracis*

cuando se suplemento con Se-levadura a dosis de 0.11, 0.21 y 0.31 mg kg⁻¹ MS, respectivamente; con la suplementación de selenito de sodio a dosis de 0.11 mg kg⁻¹ MS, en *Poas mayor* se obtuvo una concentración de 0.48 mg kg⁻¹ MS y en *L. thoracis* 0.47 mg kg⁻¹ MS.

Taylor (2005), al estudiar la influencia de la supranutricional del selenio ligado orgánicamente, en la acumulación de selenio en el músculo de corderos, informó un aumento lineal en el contenido de selenio en músculo esquelético cuando se alimentaron con alta cantidad de selenio del grano de trigo (2.9 µg de Se g⁻¹ MS) y supone que no se logró un estado de equilibrio aparente al día 56 del experimento, lo que indica una mayor capacidad del músculo para acumular selenio más allá de este tiempo.

Hintze *et al.* (2002) y Lawler *et al.* (2004) informaron que una porción de 100 g de músculo de res, que fueron alimentados con alta cantidad de selenio (11.9 mg Se kg⁻¹ MS) del grano de trigo, proporciona más del 200% del requerimiento diario recomendado de selenio para los seres humanos. Taylor (2005) reporta que el contenido de selenio del músculo de corderos alimentados con selenio supranutricional, fue de siete veces la concentración de selenio de lomo de cordero sin cocer que aparece en la Base de Datos Nacional de Nutrientes para Referencia Estándar. Cuando se ajusta al contenido de humedad similares, una porción de 100 g proporcionaría 196 y 250% del requerimiento diario recomendado de selenio sugerida para los seres humanos, del sexo masculino y femenino, respectivamente (RDA, 1989). La misma porción de 100 g de los carneros sacrificados después de 28 días de la alimentación de selenio supranutricional proporcionaría un poco más que el 100% de las necesidades (Taylor, 2005).

El selenio es un oligoelemento esencial en la nutrición humana, es el componente de selenoproteínas que tienen funciones antioxidantes en la enfermedad cardiovascular y la prevención del cáncer (Rayman, 2000), por lo cual el selenio acumulado en la carne, aumenta su disponibilidad para los seres humanos.

2.10 Selenio y la respuesta inmune

La deficiencia de selenio provoca disminución de la función inmune celular y humoral tanto en humanos como en animales de laboratorio (Combs y Combs, 1986). El aporte adecuado de selenio se ha demostrado relevante para asegurar la resistencia a la enfermedad y la eliminación de patógenos (inmunidad no específica), el elemento se asocia a la integridad de diferentes mecanismos y células participantes en la respuesta inmune (John *et al.*, 2003).

El conocimiento de los mecanismos específicos en el ganado es menos detallada que en los animales de laboratorio, aunque el aumento de la susceptibilidad a la enfermedad en el ganado deficiente está bien documentada (Maas, 1998). Sordillo *et al.* (1997) informaron de que la deficiencia de selenio es un factor de riesgo establecido en la incidencia de la mastitis y se ha correlacionado con la disminución de la actividad bactericida de los neutrófilos y de la gravedad de la infección mastitis. Las inyecciones de selenito de bario disminuyeron la incidencia de mastitis en cabras lecheras (Sánchez *et al.*, 2007), y Se-levadura en la dieta ha disminuido los episodios de diarrea en terneros (Guyot *et al.*, 2007).

La deficiencia de selenio se refleja en la capacidad de la inmunidad de los animales (Turner y Finch, 1990). El aporte adecuado de selenio, se ha demostrado ser relevante para asegurar la resistencia a la enfermedad y la eliminación de patógenos, el elemento se asocia a la integridad de diferentes mecanismos y células participantes en la respuesta inmune. La deficiencia en selenio afecta los niveles de IgG y la función de las células T, factores que determinan mayor prevalencia y severidad de las enfermedades usualmente presentes en las poblaciones animales (John *et al.*, 2003).

Presumiblemente la baja actividad de la GSH-Px reduce la vida media de los macrófagos, afecta los fenómenos de presentación antigénica y las respuestas humorales, con menor concentración de inmunoglobulinas (Aziz *et al.*, 1984; Awadeh *et al.*, 1998). Se ha administrado selenio en diferentes formas como

inmunoestimulante y se han observado efectos en la capacidad de respuesta inmune de los animales y en la calidad del calostro producido (Jendryczko, 1994).

Larsen (1988) señala que no se expresaron diferencias significativas en los niveles de IgG de corderos suplementados con 0.1, 0.5 y 1.0 mg Se kg⁻¹ MS como selenito de sodio y selenometionina, sin embargo, si ocurrieron diferencia en las ovejas que recibieron estos mismos niveles de suplementación.

Las concentraciones de proteínas plasmáticas totales y fraccionales (albuminas, alfa globulinas, beta globulinas, gamma globulinas) representan un método de diagnóstico que refleja situaciones patológicas en múltiples sistemas orgánicos como lo son: deficiencias proteicas severas, malnutrición, malabsorción, enfermedades hepáticas y renales entre otras (Larson *et al.*, 1980). Las globulinas se clasifican en: alfa globulinas, beta globulinas y gamma globulinas, sintetizadas en su mayoría a nivel hepático con excepción de las gamma globulinas que son sintetizadas por las células plasmáticas y que están constituidas por varias fracciones (IgA, IgG, IgM, IgE y IgD) que son las responsables de la respuesta inmune (Ganong, 2000).

Domínguez-Vara *et al.* (2009) no encontraron diferencias en los niveles de IgG cuando evaluaron selenio levadura a dosis de 0.3 mg kg⁻¹ MS en corderos Rambouillet, tampoco encontraron efectos de tiempo al tomar las muestras en la segunda, séptima y onceava semanas del experimento. Al suplementar selenio a dosis de 0.3 mg kg⁻¹ MS a cerdos, las inmunoglobulinas séricas no fueron afectadas (Gelderman y Claper, 2013).

Por otro lado, Larsen (1993) reportó que cuando hay una deficiencia de selenio, existe una disminución de inmunoglobulinas G y M en el plasma sanguíneo. Turner y Finch (1990) y Hidiroglou *et al.* (1992), informaron que la formación de anticuerpos fue satisfactoria, incluso a un bajo contenido de selenio en la dieta, si se aplica una cantidad suficiente de vitamina E. Pavlata *et al.* (2004) concluyeron que la aplicación paralela de selenio y vitamina E para novillas

lecheras gestantes aumentó las concentraciones de selenio, vitamina E y las inmunoglobulinas en calostro.

2.11 Literatura citada

- Ammerman, C. B., D. H. Baker, and A. J. Lewis. 1995. Bioavailability of Nutrients for Animals: Amino Acids, Minerals and Vitamins. Academic Press. New York, USA. 441 p.
- Annicchiarico, G., and L. Taibi. 2004. Dietary Intake of Vitamins and Minerals, and Water Requirements. *In: Dairy Sheep Nutrition*. Pulina G. (Ed). CABI. London, UK. pp: 51-64.
- Arthur, J. R., R. C. McKenzie, and G. J. Beckett. 2003. Selenium in the Immune system. *Journal of Nutrition* 133: 1457S-1459S.
- Awadeh, F. T., R. L. Kincaid, and K. A. Johnson. 1998. Effect of level and sources of dietary selenium on concentrations of thyroid hormones and immunoglobulins in beef cows and calves. *Journal of Animal Science* 76: 1204-1215.
- Aziz, E. S., P. H. Klesius, and J. C. Frandsen. 1984. Effect of selenium on polymorphonuclear leukocyte function in goats. *American Journal of Veterinary Research* 45: 1715-1718.
- Baldwin, R. L., and M. J. Allison. 1983. Rumen metabolism. *Journal of Animal Science* 57 (Suppl.2):461-477.
- Burk, R. F., K. E. Hill, and A. K. Motley. 2003. Selenoprotein metabolism and function: evidence for more than one function for selenoprotein P. *Journal of Nutrition* 133: 1517S-1520S.
- Butler, J. A., M. A. Beilstein, and P. D. Whanger. 1989. Influence of dietary methionine on the metabolism of selenomethionine in rats. *Journal of Nutrition* 119: 1001-1009.
- Cantor, A. H., and J. Z. Tarino. 1982. Comparative effects of inorganic and organic dietary sources of selenium on selenium levels and selenium-dependent Glutathione peroxidase activity in blood of young turkeys. *Journal of Nutrition* 112: 2187-2196.
- Cantor, A. H., M. L. Scott, and T. Noguchi. 1975a. Biological availability of selenium in feedstuffs and selenium compounds for prevention of exudative diathesis in chicks. *Journal of Nutrition* 105: 96-105.
- Cantor, A. H., M. L. Langevin, T. Noguchi, and M. L. Scott. 1975b. Efficacy of selenium in selenium compounds and feedstuffs for prevention of pancreatic fibrosis in chicks. *Journal of Nutrition* 105: 106-111.
- Carbajal H., M. A., G. Aquí Q., y C. Díaz G. 2013. Uso de selenio en ovinos. *Abanico Veterinario* 3:1.

- Chiba, L. I. 2014. Sheep nutrition and feeding. *In*: Animal Nutrition Handbook. New York. pp: 520-540.
- Combs, G. F. Jr., and S. B. Combs. 1986. The role of selenium in nutrition. Orlando, Florida: Academic press. 532 p.
- Cousins, F. B., and I. M. Cairney. 1961. Some aspects of selenium metabolism in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 12: 927.
- Daun, C., and B. Akesson. 2004. Comparison of glutathione peroxidase activity, and of total and soluble selenium content in two muscles from chicken, turkey, duck, ostrich and lamb. *Food Chemistry* 85: 295–303.
- Davis, P. A., L. R. McDowell, R. Van Alstyne, T. T. Marshall, C. D. Buergelt, R. N. Weldon, and N. S. Wilkinson. 2002. Effects of form of parental or dietary selenium supplementation on body weight and blood, liver, and milk concentrations in beef cows. *The Professional Animal Scientist* 24: 52-59.
- Davis, P. A., L. R. McDowell, N. S. Wilkinson, C. D. Buergelt, R. Van Alstyne, R. N. Weldon, T. T. Marshall and E. Y. Matsuda-Fugisaki. 2008. Comparative effects of various dietary levels of Se as sodium selenite or Se yeast on blood, wool, and tissue Se concentrations of wether sheep. *Small Ruminant Research* 74: 149–158.
- Domínguez-Vara, I. A., S. S. González-Muñoz, J. M. Pinos-Rodríguez, J. L. Bórquez-Gastelum, R. Bárcena-Gama, G. Mendoza-Martínez, L. E. Zapata, and L. L. Landois-Palencia. 2009. Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. *Animal Feed Science and Technology* 152: 42–49.
- Ehlig, C. F., D. E. Hogue, W. H. Allaway, and D. J. Hamm. 1967. Fate of selenite or seleno-methionine, with or without vitamin E, in lambs. *Journal of Nutrition* 92: 121-126.
- Elghany H, A., y J. Tórtora P. 2008. Selenio y salud animal, importancia, deficiencia, suplementación y toxicidad. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR Umuarama* 11: 153-165.
- Esaki, N., H. Tanaka, S. Uemura, T. Suzuki, and K. Soda. 1982. Selenocysteine lyase, a novel enzyme that specifically acts on selenocysteine. *Journal of Biological Chemistry* 257: 4386-4391.
- FAOSTAT (base de datos de la FAO) 2013. <http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor>. Consultado el 07 de septiembre de 2014.
- Gabrielsen, B. O., and J. Opstvedt. 1980b. Availability of selenium in fish meal in comparison with soybean meal, corn gluten meal and selenomethionine relative to selenium in sodium selenite for restoring glutathione peroxidase activity in selenium-depleted chicks. *Journal of Nutrition* 110: 1096-1100.

- Gabryszuk, M., and J. Klewiec. 2002. Effect of injecting 2-and 3-year-old ewes with selenium and selenium–vitamin-E on reproduction and rearing of lambs. *Small Ruminant Research* 43: 127–132.
- Ganong, W. 2000. *Fisiología Médica*. 16^a Ed. Manual Moderno. México. 620 p.
- Ganther, H. E. 1966. Enzymic synthesis of dimethyl selenide from sodium selenite in mouse liver extracts. *Biochemistry* 5: 1089-1098.
- Gelderman, A., and J. Clapper. 2013. Effects of inorganic or organic selenium on immunoglobulins in swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4 (1): 47.
- Grace, N. D., and J. H. Watkinson. 1985. The distribution and the amounts of selenium associated with various tissues and liveweight gains of grazing sheep. *In: Trace Elements Metabolism in Man and Animals (TEMA-5)*, Mills, C.F., Bremner, I., Chester, J.K. (Eds). Farnham Royal, Commonwealth Agric. Bureaux. pp: 490-493.
- Grunert, K. G. 2006. Future trends and consumer lifestyles with regard to meat consumption. *Meat Science* 74: 149-160.
- Gunter, S. A., P. A. Beck, and J. M. Phillips. 2003. Effects of supplementary selenium source on the performance of blood measurements in beef cows and their calves. *Journal of Animal Science* 81: 856–864.
- Guyot, H., P. Spring, S. Andrieu, and F. Rollin. 2007. Comparative responses to sodium selenite and organic selenium supplements in Belgium Blue cows and calves. *Livestock Science* 111: 259–263.
- Hemingway, R. G. 2003. The influences of dietary intakes and supplementation with selenium and vitamin E on reproduction diseases and reproductive efficiency in cattle and sheep. *Veterinary Research Communications* 27: 159-174.
- Henry, P. R., and C. B. Ammerman. 1995. Selenium bioavailability. *In: Bioavailability of Nutrients for Animals: Amino Acids, Minerals and Vitamins*. Ammerman, C.B., D. H. Baker and A. J. Lewis (Eds.). Academic Press. New York, USA. pp: 303-331.
- Hidiroglou, M., D. P. Heaney, and K. J. Jenkins. 1968. Metabolism of inorganic selenium in rumen bacteria. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 46: 229-232.
- Hidiroglou, M., T. R. Barta, L. F. Laflamme, and F. Markham. 1992. Possible role of vitamin E in immune response of calves. *International Journal for Vitamine and Nutrition Research* 62: 308–311.
- Hintze, K. J., G. P. Lardy, M. J. Marchello, and J. W. Finley. 2002. Selenium accumulation in beef: Effect of dietary selenium and geographical area of animal origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 3938–3942.

- Hoffman, J. L., K. P. MacConnell, and D. R. Carpenter. 1970. Aminoacylation of *Escherichia coli* methionine tRNA by selenomethionine. *Biochimica et Biophysica Acta* 199: 531-534.
- Hsieh, H. S., and H. E. Ganther. 1975. Acid-volatile selenium formation catalyzed by glutathione reductase. *Biochemistry* 14: 1632-1636.
- Hudman, J. F., and A. R. Glenn. 1984. Selenite uptake and incorporation by *Selenomonas ruminantium*. *Archives of Microbiology* 104: 252-256.
- Jendryczko, A. 1994. Modulatory properties of selenium in immune processes. *Wiadomosci Lekarskie* 47: 198-202.
- Johannes, E. J. 2012. The effects of different selenium sources on the meat quality and bioavailability of selenium in lambs. Thesis presented in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science. Faculty of AgriSciences at Stellenbosch University. Stellenbosch, South Africa. 60 p.
- Johansson, E., S. O. Jacobson, J. Luthman, and U. Lindlu. 1990. The biological response of selenium in individual erythrocytes and GSH-Px in lambs fed sodium selenite or selenium yeast. *Zentralblatt für Veterinärmedizin* 37(6): 463–470.
- John, R. A., R. C. McKenzie, and G. J. Beckett. 2003. Selenium in the immune system. *Journal of Nutrition* 133: 1457-1459.
- Juniper, D. T., R. H. Phipps, E. Ramos-Morales, and G. Bertin. 2008a. Effects of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in lambs. *Animal Feed Science and Technology* 149: 228–239.
- Juniper, D. T., R. H. Phipps, E. Ramos-Morales, and G. Bertin. 2008b. Effect of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef cattle. *Journal of Animal Science* 86: 3100–3109.
- Juniper, D. T., R. H. Phipps, E. Ramos-Morales, and G. Bertin. 2009. Effect of high dose selenium enriched yeast diets on the distribution of total selenium and selenium species within lamb tissues. *Livestock Science* 122: 63–67.
- Kim, J., P. J. Van Soest, and G. F. Jr. Combs. 1997. Studies on the effects of selenium on rumen microbial fermentation *in vitro*. *Biological Trace Element Research* 56: 203-213.
- Kincaid, R. L., B. P. Chew, and J. D. Cronrath. 1997. Zinc oxide and amino acids as sources of dietary zinc for calves: effects on uptake and immunity. *Journal of Dairy Science* 80: 1381–1388.
- Kleinschmidt, J. 2009. Sheep and Goat Management in Alberta: Nutrition. Alberta Lamb Producers and Alberta Goat Breeders Association. Alberta, Canada. 184 p.

- Knowles, S. O., N. D. Grace, K. Wurms, and J. Lee. 1999. Significance of amount and form of dietary selenium on blood, milk, and casein selenium concentrations in grazing cows. *Journal of Dairy Science* 82: 429-437.
- Koenig, K. M., L. M. Rode, R. D. H. Cohen, and W. T. Buckley. 1997. Effects of diet and chemical form of selenium metabolism in sheep. *Journal of Animal Science* 75: 817-827.
- Köhrle, J. 2000. The deiodinase family: selenoenzymes regulating thyroid hormone availability and action. *Cellular and Molecular Life Sciences* 57: 1853-1863.
- Kott, R. W., J. L. Ruttle, and G. M. Southward. 1983. Effects of vitamin E and selenium injections on reproduction and preweaning lamb survival in ewes consuming diets marginally deficient in selenium. *Journal of Animal Science* 57: 331-337.
- Kumar, N., A. K. Garg, R. S. Dass, V. K. Chaturvedi, V. Mudgal, and V. P. Varshney. 2009. Selenium supplementation influences growth performance, antioxidant status and immune response in lambs. *Animal Feed Science and Technology* 153: 77-87.
- Langlands, J. P., J. E. Bowles, G. E. Donal and A. J. Smith. 1986. Selenium excretion in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 37: 201-209.
- Larsen, H. J. 1988. Influence of selenium on antibody production in sheep. *Research in Veterinary Science* 45: 4-10.
- Larsen, H. J. 1993. Relation between selenium and immunity. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 11: 105-109.
- Larson, L. L., H. S. Mabruck, and S. R. Lowry. 1980. Relationship between early postpartum blood composition and reproductive performance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 63: 283-289.
- Latshaw, J. D. 1975. Natural and selenite selenium in the hen and eggs. *Journal of Nutrition* 105: 32-40.
- Lawler, T. L., J. B. Taylor, J. W. Finley, and J. S. Caton. 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.
- Lei, X. G., W. H. Cheng, and J. P. McClung. 2007. Metabolic regulation and function of glutathione peroxidase-1. *Annual Review of Nutrition* 27: 41-61.
- Maas, J. 1998. Studies on selenium metabolism in cattle: deficiency, supplementation and environmental fate of supplemented selenium. *In: Selenium-Tellurium Development Ass. 6th International Symp. Scottsdale, AZ.* pp: 139.
- Mahan, D. C., T. R. Cline, and B. Rickert. 1999. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to

- growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. *Journal of Animal Science* 77: 2172-2179.
- Markham, G. D., E. W. Hafner, C. W. Tabor, and H. Tabor. 1980. Adenosylmethionine synthetase from *Escherichia coli*. *Journal of Biological Chemistry* 255: 9082-9092.
- McClure, K. E., and D. C. Mahan. 1988. Effect of dietary selenium source on retention, digestibility and wool accumulation of selenium in growing lambs. *Nutrition Reports International* 37: 839–846.
- McConnell, K. P., and J. L. Hoffman. 1972. Methionine-selenomethionine parallels in rat liver polypeptide chain synthesis. *FEBS Letters* 24: 60-62.
- McDowell, L. R. 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press, New York. 524 p.
- McDowell L., R., J. Conrad H., y F. Hembry G. 1993. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 2da.Ed. Dep. Zoot. Universidad de Florida. Gainesville. USA. 92 p.
- McPherson, A., and J. S. Chalmers. 1984. Methods of selenium supplementation of ruminants. *Journal Veterinary Record* 115: 544- 546.
- Mudgal, V., A. K. Garg, and R. S. Dass. 2007. Effect of dietary selenium and copper supplementation on growth and nutrient utilization in buffalo (*Bubalus bubalis*) calves. *Animal Nutrition and Feed Technology* 7: 79–88.
- Muth, O. H., J. E. Oldfield, L. F. Remmert, and J. R. Schubert. 1958. Effects of selenium and vitamin E on white muscle disease. *Science* 128: 1090.
- Nicholson, J. W. G., R. E. McQueen, and R. S. Bush. 1991. Response of growing cattle to supplementation with organically bound or inorganic sources of selenium or yeast cultures. *Canadian Journal of Animal Science* 71: 803–811.
- NRC (National Research Council). 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Natl. Acad. Press, Washington, DC. USA. 345 p.
- Ortman, K., and B. Pehrson. 1999. Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. *Journal of Animal Science* 77: 3365-3370.
- Osman, M., and J. D. Latshaw. 1976. Biological potency of selenium from Sodium selenite, selenomethionine, and selenocysteine in the chick. *Poultry Science* 55: 987-994.
- Paulson, G. D., C. A. Baumann, and A. L. Pope. 1968b. Metabolism of ⁷⁵Se-selenite, ⁷⁵Se-selenate, ⁷⁵Se-selenomethionine and ³⁵S-sulfate by rumen microorganisms *in vitro*. *Journal of Animal Science* 27: 497-504.
- Pavlata, L., J. Prasek, J. Filipek, and A. Pechova. 2004. Influence of parenteral administration of selenium and vitamin E during pregnancy on selected

- metabolite parameters and colostrum quality in dairy cows at parturition. *Veterinarni Medicina* 49: 149–155.
- Peterson, P. J. and D. J. Spedding. 1963. The excretion by sheep of ⁷⁵Se incorporated into red clover: The chemical nature of the excreted selenium and its uptake by three plant species. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 6: 13-23.
- Podoll, K. L., J. B. Bernard, D. E. Ullrey, S. R. DeBar, P. K. Ku, and W. T. Magee. 1992. Dietary selenate *versus* selenite for cattle, sheep, and horse. *Journal of Animal Science* 70: 1965-1970.
- Pond, W. G., D. C. Church, and K. R. Pond. 1995. Inorganic mineral elements. *In: Basic Animal Nutrition and Feeding* (4th Ed.). John Wiley & Sons. New York. pp: 167-224.
- Qin, S., J. Gao, and K. Huang. 2007. Effects of different selenium sources on tissue selenium concentrations, blood GSH-Px activities and plasma interleukin levels in finishing lambs. *Biological Trace Element Research* 116: 91–102.
- Ramírez, B. J. E, J. L. Tórtora., M. Huerta, A. Aguirre, and L. M. Hernández. 2001. Diagnosis of selenium status in grazing dairy goats on the Mexican plateau. *Small Ruminant Research* 41: 81- 85.
- Ramírez-Bribiesca, E., E. Hernández-Camacho, L. M. Hernández-Calva, y J. L. Tórtora-Pérez. 2004. Efecto de un suplemento parental con selenito de sodio en la mortalidad de corderos y los valores hemáticos de selenio. *Agrociencia* 38: 43-51.
- Rayman, M. P. 2000. The importance of selenium to human health. *Lancet* 356: 233-241.
- RDA (Recommended Dietary Allowances). 1989. Trace elements. Natl. Acad. Press, Washington, DC. USA. 222 p.
- Rock, M. J., R. L Kincaid, and G. E. Carstens. 2001. Effects of prenatal source and level of dietary selenium on passive immunity and thermometabolism of newborn lambs. *Small Ruminant Research* 40: 129–138.
- Sánchez, J., P. Montes, A. Jiménez, and S. Andrés. 2007. Prevention of clinical mastitis whit barium selenate in dairy goats from a selenium-deficient area. *Journal of Dairy Science* 90: 2350-2354.
- Schlegel, P., S. Durosoy, and A. W. Jongbloed. 2008. Trace Elements in Animal Production. Wageningen Academic Pub. 168 p.
- Schrauzer, G. N. 2000. Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *Journal of Nutrition* 130: 1653-1656.
- Schrauzer, G. N. 2003. The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine. *Advances in Food and Nutrition Research* 47: 73-112.
- Serra, A. B., K. Nakamura, T. Matsui, T. Harumoto and T. Fujihara. 1994. Inorganic selenium for sheep I. Selenium balance and selenium levels in

- the different ruminal fluid fractions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 7: 83–89.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/>. Consultado el 07 de septiembre de 2014.
- Smith, K. L., J. S. Hogan, and W. P. Weiss. 1997. Dietary vitamin E and selenium affect mastitis and milk quality. *Journal of Animal Science* 75: 1659-1665.
- Sordillo, L. M., K. Shafer-Weaver, and D. DeRosa. 1997. Immunobiology of the mammary gland. *Journal of Dairy Science* 80: 1851-1865.
- Spears, J. W. 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *Journal of Nutrition* 133: 1506S-1509S.
- Steele, R. D., and N. J. Benevenga. 1979. The metabolism of 3-methylthiopropionate in rat liver homogenates. *The Journal of Biological Chemistry* 254: 8885-8890.
- Stowe, H. D., and T. M. Herdt. 1992. Clinical assessment of selenium status of livestock. *Journal of Animal Science* 70 (12): 3928-3933.
- Sunde, R. A. 1997. Selenium. *In*: O'Dell, B. L. and R. A. Sunde (Eds.), *Handbook of Nutritionally Essential Elements*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY. pp: 493-556.
- Suttle, N. F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4th Edition. CABI, Oxfordshire, UK. 587 p.
- Swecker, W. S. Jr., D. E. Eversole, C. D. Thatcher, D. J. Blodgett, G. G. Schuring, and J. B. Meldrum. 1989. Influence of supplemental selenium on humoral immune response in weaned beef calves. *American Journal of Veterinary Research* 50: 1760–1763.
- Taylor, J. B. 2005. Time-dependent influence of supranutritional organically bound selenium on selenium accumulation in growing wether lambs. *Journal of Animal Science* 83: 1186–1193.
- Turner R. J., and J. M. Finch. 1990. Immunological malfunctions associated with low selenium – vitamin E diets in lambs. *Journal of Comparative Pathology* 126: 2200–2204.
- Underwood, E. J., and N. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd Ed., Midlothian, UK. 614 p.
- Van Ryssen, J. B. J., J. T. Deagen, M. A. Beilstein, and P. D. Whanger. 1989. Comparative metabolism of organic and inorganic selenium by sheep. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 37: 1358–1363.
- Vignola, G., L. Lambertini, G. Mazzone, M. Giammarco, M. Tassinari, G. Martelli, and G. Bertin. 2009. Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science* 81: 678–68.

- Villanueva C., G. J. 2011. Nutrición del ganado: selenio. Premezclas Minerales. Zapopan, Jalisco, México. http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/147-selenio.pdf. Consultado 08 Agosto 2014.
- Whanger, P. D., N. D. Pedersen, J. Hatfield, and P. H. Weswig. 1976. Absorption of selenite and selenomethionine from ligated digestive tract segments in rats. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 153: 295-297.
- Whanger, P. D., P. H. Weswig, and O. H. Muth. 1968. Metabolism of ⁷⁵Se-selenite and ⁷⁵Se-selenomethionine by rumen microorganisms. *Federation Proceedings* 27: 418 (Abstract).
- Wichtel, J. J., A. L. Craigie, H. Varela-Alvarez, and N. B. Williamson. 1994. Effect of intra-ruminal selenium pellets on growth rate, lactation and reproductive efficiency in dairy cattle. *New Zealand Veterinary Journal* 42: 205–210
- Wright, P. L., and M. C. Bell. 1966. Comparative metabolism of selenium and tellurium in sheep and swine. *American Journal of Physiology* 211: 6-10.

3. VARIABLES FERMENTATIVAS RUMINALES DE OVINOS SUPLEMENTADOS CON SELENIO

3.1 Resumen

La inclusión de selenio a dietas para corderos tiene el objetivo de cubrir los requerimientos del rumiante, no obstante puede también tener efecto en la fermentación ruminal. Se determinó el efecto de la fuente (orgánico e inorgánico) y dosis (0.3, 0.6 y 0.9 mg selenio kg^{-1} MS de la dieta) de selenio en la fermentación ruminal en ovinos de engorda. Se utilizaron 21 corderos (14 hembras y 7 machos) en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Cada cordero fue la unidad experimental. A diez corderos seleccionados al azar se les realizó un muestreo de líquido ruminal al día 1 y 15 de la fase de adaptación y, posteriormente se hicieron dos muestreos más a todos los corderos, al día 45 (mitad) y 75 (final) del experimento. El análisis estadístico (PROC GLM y contrastes) mostró que el volumen máximo (V_m), tasa (S), fase lag (L) y los volúmenes fraccionales ($V_{f0-6\text{ h}}$, $V_{f6-18\text{ h}}$ y $V_{f18-48\text{ h}}$) de gas de fermentación, así como la digestibilidad (DIVMS) fueron similares al día 1 y 15 ($P>0.05$). El pH, N-NH_3 , V_m , DIVMS, y los volúmenes fraccionales de gas de fermentación incrementaron respecto al tiempo de muestreo en el periodo experimental, pero acético y butírico disminuyeron ($P<0.05$). La suplementación con selenio redujo ($P<0.05$) el pH y N-NH_3 , pero no hubo efecto por la fuente de selenio ($P>0.05$). El V_m y $V_{f0-6\text{ h}}$ incrementaron linealmente y la DIVMS disminuyó cuadráticamente de acuerdo con el incremento de la dosis de selenio. La inclusión de selenio a dietas para la engorda intensiva de corderos promueve la fermentación y la eficiencia de utilización de los compuestos nitrogenados en rumen, pero deprime la DIVMS de la dieta.

Palabras clave: selenio, fermentación, rumen, corderos.

FERMENTATIVE RUMINAL VARIABLES OF SHEEP SUPPLEMENTED WITH SELENIUM

3.2 Abstract

The selenium inclusion on diets for lambs has the aim of covering the ruminant requirements, however, it can also affect the ruminal fermentation. The effect of the source (organic and inorganic) and selenium doses (0.3, 0.6 and 0.9 mg selenium kg⁻¹ MS of diet) was determined on the ruminal fermentation of sheep for fattening. Twenty one lambs (14 females and 7 males) were used in a completely random design with three replicates. Each lamb was the experimental unit. Ten randomly selected lambs had a ruminal liquid sampling on the 1st and 15th day of adaptation phase, subsequently two more samplings on every lamb were done, by the 45th day (a half) and 75 (final) of the experiment. The statistical analysis (PROC GLM and contrasts) showed that the maximum volume (Mv), rate (R), lag phase (L), the fractional volumes (Vf₀₋₆, Vf₆₋₁₈ and Vf_{18-48 h}) of fermentation gas, and digestibility (DIVMS) were similar at days 1 and 15 (P>0.05). The pH, N-NH₃, Mv, DIVMS and the fractional volumes of fermentation gas increased as the sampling time of the experimental period, but acetic and butyric acids diminished (P<0.05). Supplementation with selenium reduces (P<0.05) pH and N-NH₃, but there was no effect of selenium source (P>0.05). The Vm and Vf_{0-6h} lineally increased and the DIVMS diminished in a quadratic way as selenium dose increased. The selenium inclusion on diets for intensive lamb fattening promotes fermentation and the effectiveness of the nitrogenated compounds in rumen, but depresses the DIVMS on the diet.

Key words: selenium, fermentation, rumen, lambs.

3.3 Introducción

El selenio es reconocido como un mineral esencial para las actividades metabólicas de los seres vivos, entre ellos los rumiantes (McDowell *et al.*, 2005) y los microsimbiontes que alberga en su rumen (Hudman y Glenn, 1984; Serra *et al.*, 1994b). Según Van Saun (1990), la absorción aparente del selenito por los rumiantes es de 29% y puede variar entre 17 y 50% (Harrison y Conrad, 1984).

Los microorganismos ruminales pueden fijar el selenio inorgánico en moléculas orgánicas o viceversa, reducir químicamente el selenio orgánico de la dieta a formas minerales insolubles y no biodisponibles como selenio elemental o selenuros (Peterson y Spedding, 1963), lo cual causa su eliminación por heces (Sunde, 1990). Esto último puede ser la causa de la baja absorción de selenio y; por otro lado, dado que los microorganismos ruminales pueden incorporar el selenio elemental a las proteínas bacterianas, se puede aumentar la biodisponibilidad de este mineral (NRC, 1980).

Puesto que el selenio también es esencial para las funciones metabólicas de los microorganismos, la suplementación de este elemento en la dieta para ovinos puede modificar la fermentación ruminal. La información científica del efecto de la concentración de selenio en el metabolismo ruminal, es escasa y los resultados son inconsistentes. Hidiroglou y Lessard (1976) encontraron que el selenito de sodio deprimió la producción de AGV, mientras que Serra *et al.* (1994a) observaron un incremento de los mismos ácidos. Naziroglu *et al.* (1997) indican que la suplementación de selenito de sodio junto con la vitamina E aumenta la producción de AGV y la población de protozoos. Otros autores (Kim *et al.*, 1997; Feasenhiser, 2005), en un experimento *in vitro* con selenio, no observaron cambios significativos en las variables fermentativas. En la presente investigación se determinaron los cambios en los parámetros de fermentación y digestibilidad *in vitro*, inducidos por inóculos ruminales de corderos suplementados con dos fuentes selenio a tres dosis.

3.4 Materiales y métodos

Dieta base y tratamientos: se usó selenito de sodio (Na_2SeO_3) y levadura enriquecida con selenio (Sel-plex®) a tres dosis (0.3, 0.6 y 0.9 mg de selenio kg^{-1} MS) en la dieta. Los tratamientos fueron siete como resultado de la combinación de las dos fuentes y las tres proporciones de selenio, más un tratamiento testigo sin selenio. La composición de la dieta base se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ingredientes y composición nutricional de la dieta base para corderos.

Composición	Porcentaje de inclusión (%)
Maíz rolado	30.0
Maíz molido	29.0
Rastrojo de maíz	14.0
Cascarilla de soya	8.0
Pasta de soya	6.0
Melaza	5.0
Gluten de maíz	4.4
Mezcla mineral ²	1.5
Carbonato de calcio	1.0
Urea	0.5
Sal común	0.5
Grasa de sobrepaso	0.1
<i>Nutrientes</i>	
MS, %	87.0
EM, Mcal/kg	2.8
PC, %	16
PCNDR, %	6
FC, %	10
E.E., %	3.3
Cenizas, %	5.8
Vit. A, UI/kg	1.5
Vit. E, UI/kg	16.7
Se, mg/kg^{-1} MS	0.1

²Mezcla mineral: Ca, 24%; Cl, 12%; Na, 8%; P, 3%; Mg, 2%; S, 0.5%; K, 0.5%; Zn, 5000 mg kg^{-1} ; Mn, 4000 mg kg^{-1} ; Fe, 2000 mg kg^{-1} ; I, 100 mg kg^{-1} ; Co, 60 mg kg^{-1} ; Cr, 5 mg kg^{-1} ; Vitamina A, 500000 UI kg^{-1} ; Vitamina D, 300000 UI kg^{-1} ; Vitamina E, 1000 UI kg^{-1} . MS: Materia seca; EM: Energía metabolizable; PC: Proteína cruda; PCNDR: Proteína cruda no degradable en rumen; FC: Fibra cruda; E.E: Extracto etéreo.

Manejo de ovinos: se usaron 21 corderos Pelibuey-Canelo (14 hembras y 7 machos) recién destetados, con un peso promedio de 23 ± 1.1 kg, procedentes del rancho El Gargaleote, Tamuín, San Luis Potosí. Los corderos fueron desparasitados (Ivermectina; 1 ml/50 kg PV) y vacunados (bacterina 8 vías; 2.5 ml por cordero). Los corderos se alojaron en corraletas individuales y se les asignó al azar una de las siete dietas experimentales (Cuadro 1), las cuales se ofrecieron a libre acceso dos veces al día: el 60% del consumo diario estimado se ofreció a las 7:00 h y el resto, 40% a las 16:00 h. La adaptación a la dieta fue de 15 días y el experimento tuvo una duración de 60 días. El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Cada cordero fue la unidad experimental.

Muestreo de líquido ruminal y variables analizadas: a la recepción (día 1), diez de los 21 corderos, elegidos al azar se les realizó un muestreo de líquido ruminal (LR), para conocer su estado fermentativo antes de la adaptación a la dieta base y de la aplicación del tratamiento con selenio. Posteriormente, se realizaron tres muestreos más al día 15 (correspondiente al final del periodo de adaptación e inicio de la aplicación del tratamiento), día 45 (mitad del período con el tratamiento) y día 75 (final del tratamiento). Las muestras de líquido ruminal se manejaron individualmente y se obtuvieron a las 4 h post-alimentación por sonda y bomba de vacío, e inmediatamente se les determinó el pH con un potenciómetro (Thermo Fisher Orion 3 Star). Una submuestra de líquido ruminal fue mezclada con ácido metafósforico (25% p/v) en una proporción de 4:1. Estas submuestras se usaron para medir la cantidad de N-NH_3 (mg dL^{-1} ; McCullough, 1967) y AGV por cromatografía de gas (mmol L^{-1} LR; Erwin *et al.*, 1961).

Otra submuestra de LR fue usada para determinar indirectamente, el estado fermentativo del líquido ruminal por la técnica de producción de gas (Menke y Steingass, 1988). Para lo cual se midió el volumen de gas a 0, 2, 4, 6, 10, 14, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 h de incubación. Con los datos del volumen de gas y el tiempo de incubación, se obtuvieron los parámetros de la cinética de fermentación: volumen máximo (V_m , mL g^{-1}); tasa (S ; h^{-1}), y tiempo de retardo (L ;

h) de producción de gas, del modelo logístico $V_0 = V_m / (1 + e^{(2-4 \cdot S \cdot (T-L))})$ (Schofield y Pell, 1995) y el paquete estadístico SAS (2009). También se generaron las variables de volúmenes fraccionales de gas para los intervalos de 0 a 6 ($V_{f0-6\ h}$), 6 a 18 ($V_{f6-18\ h}$) y 18 a 48 ($V_{f18-48\ h}$), horas de incubación, los cuales se asociaron a la fermentación de carbohidratos solubles, carbohidratos de reserva y carbohidratos estructurales, respectivamente. Además se cuantificó la MS inicial y residual del sustrato a 72 h de incubación, con lo que se calculó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (% DIVMS).

Análisis: las variables se analizaron con un diseño completamente al azar (modelo $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$). En un primer análisis los tratamientos fueron el día de muestreo 1 y 15; correspondientes al inicio y final del período de adaptación a la dieta, para definir el estado fermentativo de los corderos al momento de iniciar la aplicación del tratamiento con selenio; y las variables analizadas fueron los parámetros de la cinética de producción de gas (V_m , S , L , DIVMS, $V_{f0-6\ h}$, $V_{f6-18\ h}$, $V_{f18-48\ h}$). Para un segundo análisis en el periodo experimental (15 al 75) se realizó un análisis factorial 3 x 6 para determinar la existencia de interacción periodo por tratamiento, y un segundo análisis exclusivamente para determinar efecto de la fuente y dosis de selenio en el cual se aplicaron un análisis de contrastes (Cuadro 2). Para el análisis se usó el paquete estadístico SAS (S.A.S., 2009).

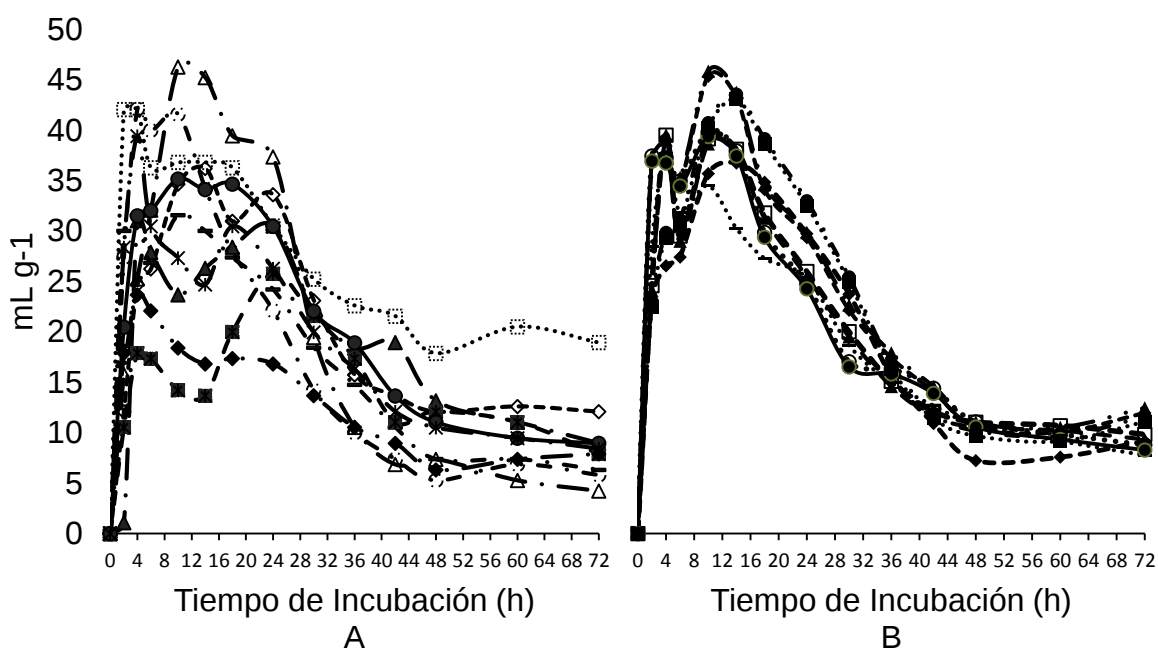
Cuadro 2. Contrastes utilizados en el análisis de datos generados en la fase experimental

Contrastes	Descripción
SS vs Se	Tratamiento sin selenio vs Tratamientos con selenio (n=6)
SS vs IO	Tratamiento sin selenio vs Tratamientos con selenio inorgánico (n=3)
SS vs OR	Tratamiento sin selenio vs Tratamientos con selenio orgánico (n=3)
IO vs OR	Tratamientos con selenio inorgánico (n=3) vs Tratamientos con selenio orgánico (n=3)

Se: Selenio, SS: Sin Selenio, IO: Selenio Inorgánico, OR: Selenio Orgánico.

3.5 Resultados y discusión

Estado fermentativo de corderos en el periodo de adaptación. En la Figura 2 se muestra la producción de gas (mL g^{-1}) de fermentación a los tiempos de medición, por el inóculo ruminal individual de diez corderos en el día 1 y 15 del período de adaptación a la fase experimental. Se observa mayor variabilidad entre inóculos en el día 1 (recepción; Figura 2A), en comparación con el día 15 (final de la adaptación; Figura 2B). Los datos de varianza, coeficiente de variación y desviación estándar confirma ésto (Cuadro 3). Tales estadísticas descriptivas, son mayores para el día 1 respecto al día 15. Esto da confianza de que los borregos iniciaron el período de experimentación con los tratamientos, teniendo un estado fermentativo homogéneo, y cualquier diferencia encontrada en las variables de fermentación serán atribuidas a la adición del selenio.



Las líneas representan los inóculos de diez corderos en los día 1 (A) y 15 (B) del período de adaptación.

Figura 2. Producción de gas *in vitro* a 72 horas de incubación.

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas del volumen máximo de gas en líquido ruminal de corderos en el periodo de adaptación.

Estadístico	Inicio de adaptación	Final de adaptación
Número de muestras	10	10
Media, mL g ⁻¹	257.93	269.15
Desviación estándar	50.15	37.92
Coeficiente de variación	19.44	14.09
Varianza	2515.91	1438.60

En el Cuadro 4 se presentan los parámetros de fermentación, DIVMS y los volúmenes fraccionales de gas de fermentación, por los inóculos de diez corderos, al día 1 (recepción) y día 15 (final de la fase de adaptación). No se encontraron diferencias ($P>0.05$) entre día de muestreo.

Cuadro 4. Parámetros de fermentación y volumen fraccional de gas de fermentación y digestibilidad *in vitro* de la dieta para corderos.

Día de Muestreo	Parámetros de fermentación				Volumen fraccional		
	Vm, mL g ⁻¹	S, h ⁻¹	L, h	DIVMS, %	Vf _{0-6 h}	Vf _{6-18 h}	Vf _{18-48 h}
					-----mL g ⁻¹ -----		
1	257.93	0.0364	2.50	70.67	80.57	90.02	85.96
15	269.15	0.0360	1.94	75.79	89.13	99.21	88.96
E.E.M.	13.66	0.0018	0.66	3.98	10.29	8.15	4.83

Vm, volumen máximo (mL g⁻¹); S, tasa (h⁻¹); L, fase lag (h) de la producción de gas. DIVMS (%): digestibilidad *in vitro* de la materia seca, Vf₀₋₆, Vf₆₋₁₈ y Vf₁₈₋₄₈; volumen fraccional de 0 a 6, 6 a 18 y 18 a 48 h de incubación. E.E.M.: error estándar de la media. Los inóculos ruminales fueron de diez corderos, al inicio (día 1) y final (día 15) del periodo de adaptación.

Efecto del tipo y cantidad de selenio. No se encontró interacción periodo por tratamiento por lo que la descripción de resultados y discusión se presentar por separado para efecto de periodo y efecto de tratamiento.

Día de muestreo. En los Cuadros 5 y 6 se muestran los valores de pH, nitrógeno amoniacal (N-NH₃), ácidos grasos volátiles (AGV), parámetros de fermentación y volúmenes fraccionales de gas de fermentación, por los inóculos ruminales de los corderos, en tres tiempos de muestreo durante la fase experimental. El pH y N-NH₃ incrementaron ($P<0.05$), pero el acético y el butírico disminuyeron ($P<0.05$) de acuerdo con el día de muestreo.

Cuadro 5. Nitrógeno amoniacal (N-NH₃), pH y ácidos grasos volátiles (AGV) en líquido ruminal de los corderos.

Día de muestreo	pH	N-NH ₃ , mg dL ⁻¹	AGV (mM)		
			Acético	Propiónico	Butírico
15 (Inicio)	6.0 ^c	2.17 ^b	47.14 ^a	23.62	9.24 ^a
45 (Mitad)	6.3 ^b	6.14 ^a	42.37 ^a	27.10	6.51 ^b
75 (Final)	6.6 ^a	7.86 ^a	31.06 ^b	21.54	6.07 ^b
E.E.M.	0.06	0.52	1.59	1.68	0.68

Medias sin una letra en común, dentro de columna, son diferentes ($P<0.05$). E.E.M.: error estándar de la media. Los valores de pH, N-NH₃ y AGV fueron analizados en tres tiempos de muestreo durante la fase experimental

De igual forma, a excepción de la tasa (S), el tiempo de muestreo afectó ($P<0.05$) las variables de producción de gas y la DIVMS. El Vm, DIVMS, Vf_{0-6 h} Vf_{6-18 h} y Vf_{18-48 h} incrementaron respecto al tiempo de muestreo (Cuadro 6). La fase de retardo (L) disminuyó ($P<0.05$) conforme avanzó el período de investigación (Cuadro 6). Se observó una mejora en la fermentación y digestibilidad *in vitro* de la dieta al final del experimento, lo que significa que los consorcios microbianos de los corderos no dejaron de adaptarse a las dietas correspondientes.

Cuadro 6. Parámetros de fermentación y volumen fraccional de producción de gas por la fermentación *in vitro* de la dieta para corderos.

Día de muestreo	Parámetros de fermentación				Volumen fraccional		
	Vm	S	L	DIVMS	Vf _{0-6 h}	Vf _{6-18 h}	Vf _{18-48 h}
	mL g ⁻¹	h ⁻¹	H	%	-----	mL g ⁻¹	-----
15 (inicio)	282.90 ^b	0.0405 ^a	2.21 ^{ab}	71.90 ^b	98.12 ^b	106.72 ^b	84.66 ^b
45 (mitad)	302.90 ^b	0.0359 ^a	2.61 ^a	79.30 ^a	103.51 ^b	104.39 ^b	96.15 ^b
75 (Final)	385.37 ^a	0.0395 ^a	1.53 ^b	79.00 ^a	142.07 ^a	136.69 ^a	111.73 ^a
E.E.M.	11.30	0.0013	0.23	1.95	5.54	5.06	4.09

Medias sin una letra en común, dentro de columna, son diferentes ($P < 0.05$). Vm: volumen de gas (mL g⁻¹), S: tasa de fermentación (h⁻¹), L: fase lag (h), DIVMS (%): digestibilidad *in vitro* de la materia seca, Vf₀₋₆, Vf₆₋₁₈ y Vf₁₈₋₄₈; volumen fraccional de 0 a 6, 6 a 18 y 18 a 48 h de incubación. E.E.M.: error estándar de la media. Todas las variables fueron analizadas en tres tiempos de muestreo durante la fase experimental.

Efecto del tratamiento con selenio. En el Cuadro 7 se presentan los valores de pH, nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y ácidos grasos volátiles (AGV) de la fermentación *in vitro* de la dieta, por el inóculo ruminal de los corderos en experimentación. Los contrastes mostraron que la suplementación de selenio reduce ($P < 0.05$) el pH y N-NH₃; sin embargo, la fuente de selenio no fue significativa ($P > 0.05$). La proporción de AGV no se afectó por la suplementación con selenio ($P > 0.05$).

Cuadro 7. Nitrógeno amoniacal (N-NH₃), pH y ácidos grasos volátiles (AGV) en líquido ruminal de corderos suplementados con dos fuentes de selenio en tres concentraciones.

Tratamiento		pH	N-NH ₃ , mg dL ⁻¹	AGV (mM)		
Selenio	mg kg ⁻¹			Acético	Propionico	Butírico
Inorgánico	0.3	6.2	5.19	40.91	25.88	9.20
Inorgánico	0.6	6.2	4.26	40.77	27.11	7.98
Inorgánico	0.9	6.3	6.02	35.00	21.00	5.54
Orgánico	0.3	6.3	4.81	42.40	22.25	7.95
Orgánico	0.6	6.2	5.56	42.05	26.31	7.52
Orgánico	0.9	6.3	4.67	40.01	25.41	6.74
Sin Se	0.0	6.5	7.24	40.17	20.65	5.97
E.E.M		0.094	0.793	2.41	2.55	1.02
Contrastes		Valores P				
SS vs Se		0.011	0.015	0.992	0.147	0.173
SS vs IO		0.015	0.027	0.646	0.175	0.179
SS vs OR		0.018	0.018	0.634	0.175	0.228
IO vs OR		0.864	0.827	0.189	0.997	0.839

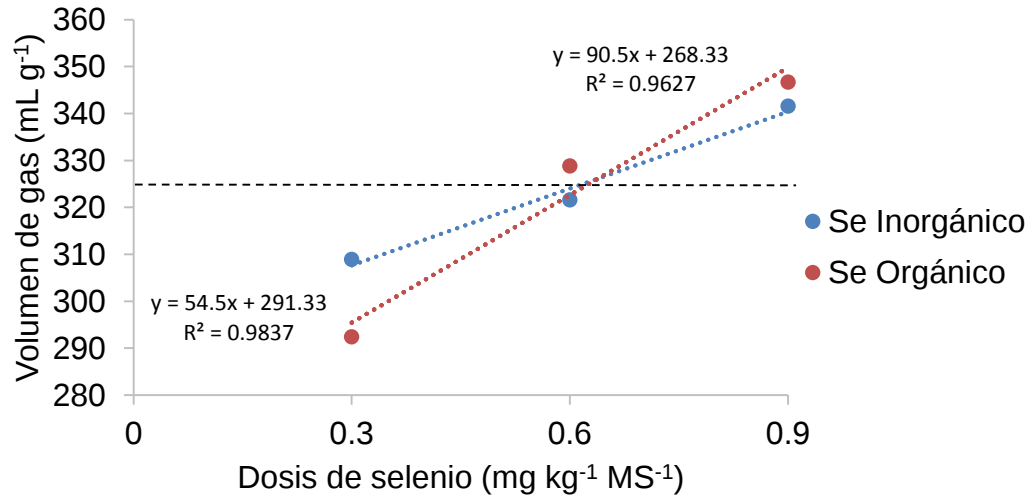
Se: Con Selenio, SS: Sin Selenio, IO: Selenio Inorgánico, OR: Selenio Orgánico.

Los parámetros de fermentación y volúmenes fraccionales de gas de fermentación *in vitro* de dietas por inóculos ruminales de corderos suplementados con selenio, se muestran en el Cuadro 8. No se encontró efecto de selenio en estas variables. No obstante, independientemente de la fuente utilizada, el Vm incrementa linealmente con el aumentar la dosis de selenio (Figura 3) y el Vm es mayor que el producido con el tratamiento testigo, cuando se adiciono 0.9 mg de selenio (Figura 3). La tasa de incremento del Vm respecto a la concentración de selenio es mayor para el selenio orgánico (90.5 mL mg⁻¹) que con el selenio inorgánico (54.5 mL mg⁻¹).

Cuadro 8. Parámetros de fermentación y volumen fraccional de producción de gas por la fermentación *in vitro* de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio en tres concentraciones.

Tratamiento		Parámetros de fermentación				Volumen fraccional		
Se	mg kg ⁻¹	Vm	S	L	DIVMS	Vf _{0-6h}	Vf _{6-18h}	Vf _{18-48h}
		mL g ⁻¹	h ⁻¹	h	%	-----	mL g ⁻¹	-----
IO	0.3	308.9	0.037	2.4	80.6	103.6	109.6	96.9
IO	0.6	321.6	0.038	1.6	77.2	118.2	106.5	98.1
IO	0.9	341.6	0.040	2.4	76.0	124.7	120.7	100.7
OR	0.3	292.4	0.039	2.7	76.6	98.0	108.4	88.8
OR	0.6	328.8	0.037	1.4	74.5	122.2	117.6	100.3
OR	0.9	346.7	0.041	2.1	75.2	126.4	126.4	99.9
SS	0.1	326.0	0.039	2.6	76.9	108.6	122.3	97.9
E.E.M.		11.30	0.0013	0.23	1.95	5.54	5.06	4.09
Contrastes		Valores P						
SS vs Se		0.87	0.81	0.19	0.93	0.48	0.36	0.94
SS vs IO		0.91	0.74	0.20	0.76	0.51	0.25	0.92
SS vs OR		0.85	0.91	0.23	0.66	0.51	0.58	0.81
IO vs OR		0.91	0.75	0.91	0.30	0.99	0.40	0.63

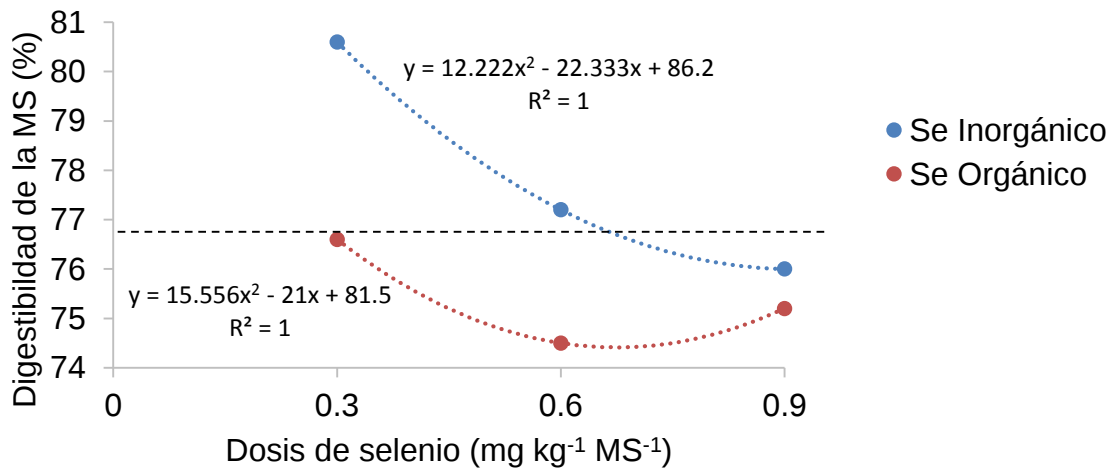
Se: Con Selenio; IO: Selenio Inorgánico; OR: Selenio Orgánico; SS: Sin selenio; Vm, volumen máximo (mL g⁻¹); S, tasa (h⁻¹); L, fase lag (h) de la producción de gas. DIVMS (%): digestibilidad *in vitro* de la materia seca, Vf₀₋₆, Vf₆₋₁₈ y Vf₁₈₋₄₈; volumen fraccional de 0 a 6, 6 a 18 y 18 a 48 h de incubación. E.E.M.: error estándar de la media.



La línea horizontal punteada representa el valor para el tratamiento testigo (sin selenio).

Figura 3. Volumen máximo de gas de fermentación *in vitro* de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na₂SeO₃; selenio orgánico, Sel-plex®).

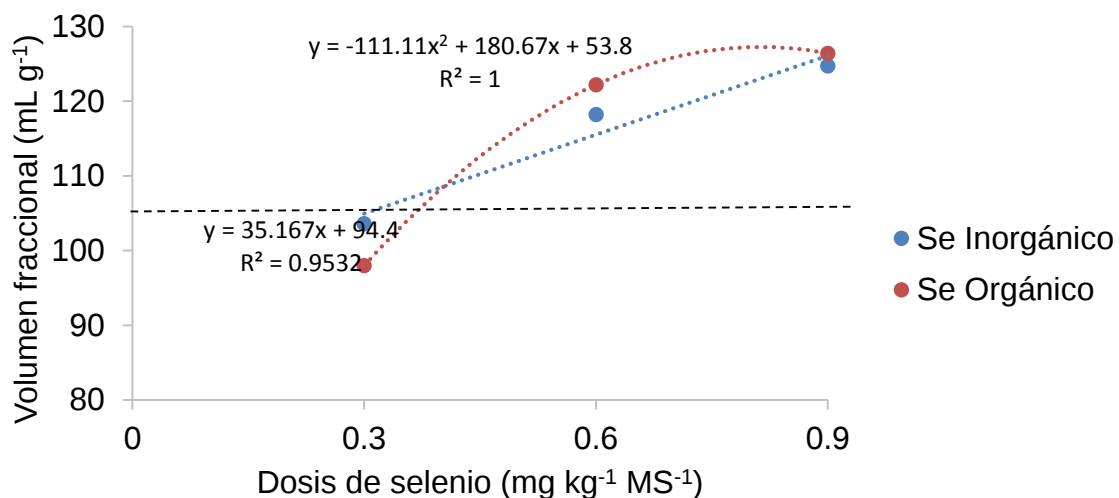
Contrario a la fermentación medida como Vm, la DIVMS decreció al aumentar la dosis de selenio (Figura 4). La DIVMS fue menor con la suplementación de selenio orgánico respecto al testigo sin selenio.



La línea horizontal punteada representa el valor para el tratamiento testigo (sin selenio).

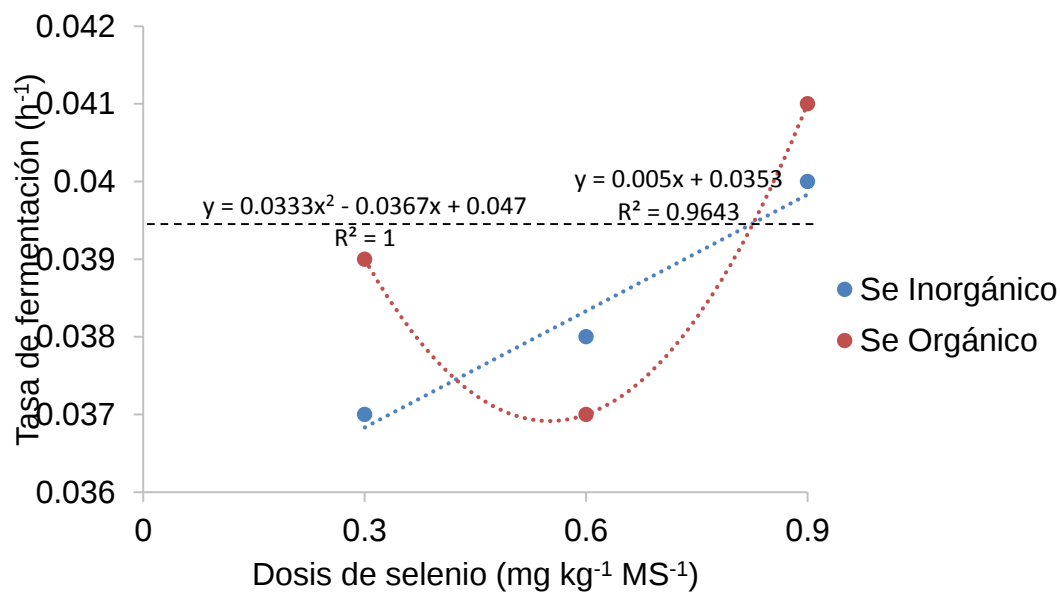
Figura 4. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na₂SeO₃; selenio orgánico, Sel-plex®).

Respecto a los volúmenes fraccionales, éstos incrementan conforme aumenta la concentración de selenio, pero es más notorio para el V_{f0-6} (Figura 5) que corresponde a la fermentación de los carbohidratos solubles. La adición de selenio 0.6 y 0.9 mg kg^{-1} de alimento, induce mayor V_{f0-6} respecto al testigo sin selenio. Esto concuerda con la tendencia encontrada para la tasa de fermentación (S) (Figura 6) y la fase de retardo (L) (Figura 7), la primera incrementó linealmente para selenio inorgánico y cuadráticamente para selenio orgánico y la segunda disminuyó respecto al aumento de selenio en la dieta. Ambas fuentes de selenio causaron una tasa de fermentación mayor respecto al grupo testigo, cuando se suplemento con 0.9 mg de selenio y, la menor fase lag se obtuvo con la inclusión de 0.6 mg de selenio, independientemente de la fuente.



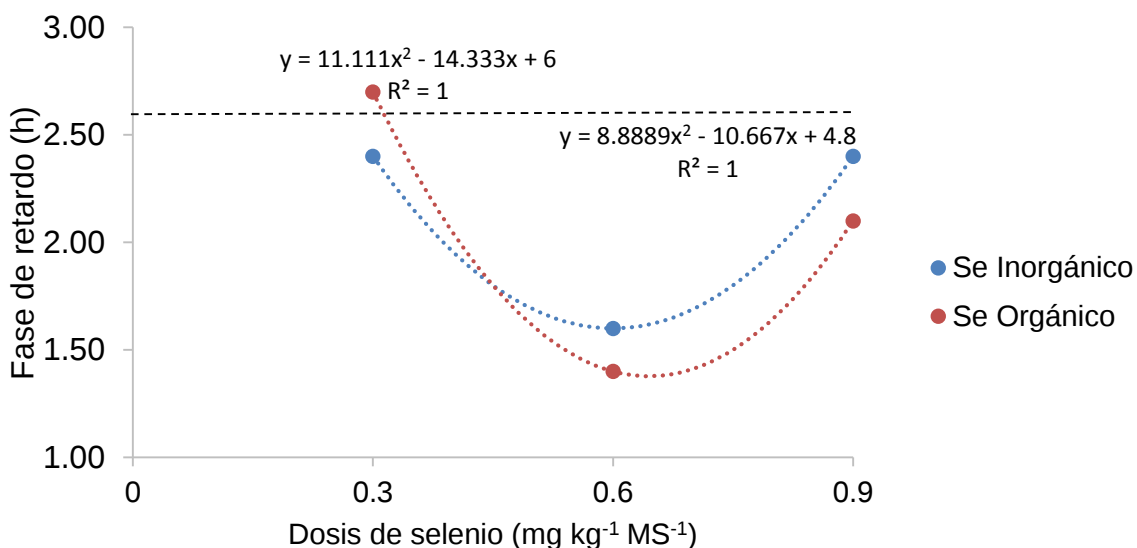
La línea horizontal punteada representa el valor para el tratamiento testigo (sin selenio).

Figura 5. Volumen fraccional de gas (V_{f0-6}) de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na_2SeO_3 ; selenio orgánico, Sel-plex®).



La línea horizontal punteada representa el valor para el tratamiento testigo (sin selenio).

Figura 6. Tasa de fermentación *in vitro* de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na_2SeO_3 ; selenio orgánico, Sel-plex®).



La línea horizontal punteada representa el valor para el tratamiento testigo (sin selenio).

Figura 7. Fase de retardo o lag de la dieta para corderos suplementados con dos fuentes de selenio (selenio inorgánico, Na_2SeO_3 ; selenio orgánico, Sel-plex®).

Pese a que se esperaba que el estado fermentativo difiriera entre los corderos a la recepción, los cuales estaban en pastoreo, con respecto a los que tuvieron 15 días de adaptación a la dieta concentrada, no se encontraron diferencias ($P>0.05$) en el estado fermentativo de los corderos al inicio (día 1) y final del período de adaptación (día 15), lo cual se atribuyó a la variabilidad que mostraron los inóculos en el día 1. Sin embargo, para los propósitos de investigación, la adaptación de los corderos a la dieta y confinamiento por 15 días fue apropiada para determinar los posibles efectos de la fuente y concentración de selenio en las variables fermentativas de los corderos, debido a que se redujo dicha variabilidad fermentativa (Figura 2; Cuadro 6). La adaptación de los microorganismos en el rumen a la dieta, antes del tratamiento con selenio, es importante a fin de reducir los efectos confundidos relacionados a la dieta propiamente, ya que el cambio y fermentación de la dieta puede inducir cambios en el pH y AGV del ecosistema microbiano que determinen el crecimiento selectivo de los microorganismos (Mouriño *et al.*, 2001; Russell y Rychlik, 2001). Esto resultados remarcan la importancia de que el estado fermentativo de los animales en experimentación debe ser homogéneo cuando se investigue el efecto de aditivos en la actividad ruminal, y que la Técnica de Producción de Gas puede ser una buena herramienta metodológica para este fin.

La suplementación de selenio, sin importar la fuente utilizada, redujo ($P<0.05$) en 0.3 unidades el pH, con respecto al testigo (Cuadro 7). Shi *et al.* (2011), también observaron una disminución del pH a 6.71, 6.68 y 6.80 al suplementar con 0.3, 3 y 6 mg nano-Se kg^{-1} MS, respecto al tratamiento testigo (pH=6.88). Cruz-Monterrosa *et al.* (2011) encontraron que el pH ruminal de corderos Pelibuey*Katahdin*Dorper, disminuyó en 2.9% cuando se adicionó a la dieta alta en grano (60%), 0.5 mg de Se kg^{-1} MS, con selenito de sodio.

Kim *et al.* (1997) demostraron que el selenito y L-selenometionina en una proporción de 2 mg kg^{-1} MS, disminuyeron el pH *in vitro* a 6.81 y 6.83 en comparación con el testigo (pH, 6.85) en 18 h de incubación, y fue aún menor a

36 h de incubación cuando se adicionó L-seleenometionina. Estos valores son similares a los encontrados en la presente investigación.

La suplementación de selenio, independientemente la fuente utilizada, redujo la concentración de N-NH₃ en 2.98 mg dL⁻¹ con respecto al grupo testigo (Cuadro 7). Shi *et al.* (2011), encontraron que el N-NH₃ disminuyó cuadráticamente con el aumento de la suplementación con nano-Se (12.49 mg dL⁻¹ en el grupo control vs. 10.30, 9.95 y 11.22 mg dL⁻¹ con 0.3, 3 y 6 mg Se kg⁻¹ MS). De igual forma, en vacas lecheras se observó una disminución de la concentración de N-NH₃ cuando se suplementó 0.3 y 0.45 mg de Se kg⁻¹ MS⁻¹, en la forma de selenio orgánico (Wang *et al.*, 2009). Por el contrario, Naziroglu *et al.* (1997) no observaron efecto ($P>0.05$) en la concentración de N-NH₃ en los corderos, al suplementar selenito de sodio (0.3 mg de Se kg⁻¹ MS).

El límite inferior crítico de nitrógeno amoniacal requerido para un adecuado crecimiento microbial y síntesis proteica es de 5 a 8 mg dL⁻¹ según Satter y Slyter (1974); sin embargo, Leng y Nolan (1984) indicaron como adecuado un mínimo de 15 a 20 mg dL⁻¹. En la presente investigación, la concentración de N-NH₃ para los tratamientos con selenio, varió de 4.26 a 6.02 mg dL⁻¹, con una media de 5.08, en tanto que para el testigo la concentración fue mayor (7.24 mg dL⁻¹). Puesto que el Vm, L y S no fueron afectadas por el selenio (Cuadro 8), se consideró que el nivel de N-NH₃ inducido por el selenio no afectó la actividad fermentativa total de los corderos, puesto que la concentración de N-NH₃ ruminal es resultado de un balance entre la producción (proteólisis) y la asimilación (De Visser *et al.*, 1997). De acuerdo con Hoover y Stokes (1991), para optimizar la utilización del nitrógeno dietario en rumiantes, la degradación de proteínas en el rumen debe reducirse y el uso del nitrógeno por los microorganismos ruminales debe aumentarse, por lo que la reducción de la concentración de N-NH₃ respecto al testigo, puede indicar una mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno por los microorganismos ruminales.

Los AGVs no mostraron respuesta a los niveles y fuentes utilizadas de selenio, situación que es similar con lo obtenido por Del Razo-Rodriguez *et al.* (2013)

quienes concluyeron que la adición de selenito de sodio a dosis similares a este estudio, no afectó la concentración de los AGVs en líquido ruminal de ovinos Suffolk × Dorset; sin embargo al adicionar este mineral a dietas con 50% de grano de maíz, se presentó la mayor concentración de ácido acético y al adicionarlo a dietas con 70% de grano, aumentó ácido propiónico.

Estos resultados contrastan con lo obtenido por otros autores, que han informado del aumento en la concentración de ácido acético, propiónico, butírico, y AGV totales al adicionar selenio en la dieta (Hidiroglou y Lessard, 1976; Wang *et al.*, 2009). El aumento de las concentraciones de AGVs con la suplementación con selenio se presenta cuando existe mayor velocidad de fermentación microbiana ruminal (Wang *et al.*, 2009).

Por lo regular, la DIVMS y el volumen máximo de gas (V_m) se correlacionan positivamente (Williams, 2000; Blümmel *et al.*, 2005), pero en esta investigación se encontró una correlación negativa de acuerdo al nivel de selenio, puesto que, mientras que la fermentación potencial (V_m) tendió a incrementar conforme aumentó la proporción de selenio, la DIVMS tendió a disminuir (Figuras 4 y 5). Con ambas formas químicas del selenio (orgánica e inorgánica) el V_m tendió a incrementarse, superando al testigo cuando la dosis de selenio fue $0.9 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$ (Figura 4), pero la digestibilidad tendió a ser mayor a dosis bajas de selenio (0.3 y $0.6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) y sólo con la forma química inorgánica, mientras que con la forma orgánica de selenio la DIVMS tendió a ser menor que en el testigo.

La diferencia en el V_m para ambas formas químicas del selenio, se observó en la tasa de incremento en función de la dosis ($\text{mL mg}^{-1} \text{ selenio}$). Lo anterior indica que la inclusión de selenio favorece el metabolismo fermentativo de los carbohidratos, en particular cuando la forma química es orgánica, y deprime digestibilidad de los polisacáridos especialmente cuando la forma química del selenio es inorgánica. El efecto estimulante de selenio en la fermentación puede explicarse en virtud de que el transporte de minerales a nivel de membrana microbiana, se facilita cuando se encuentra combinados con moléculas orgánicas neutras, que en sus formas inorgánicas ionizadas (Jacques y McKenzie, 1991;

Sunde, 1997) ya en el interior celular puede actuar como cofactor de diversas enzimas de la fermentación de carbohidratos (Suttle 1987; Arelovich, 2008). El efecto depresor del selenio en la DIVMS, podría ser explicado como un efecto inhibidor de la actividad de las enzimas digestivas (celulasas, hemicelulasas, amilasas o pectinasas), o como un efecto competitivo por los sitios de adhesión de los microorganismos a las partículas alimenticias (Martínez y Church, 1970; Serra *et al.*, 1994b)

Lo hallado con el V_{f0-8h} correspondiente a la fermentación de carbohidratos solubles, confirma la hipótesis anterior, ya que mostró una tendencia similar al V_m , V_{f0-8h} incrementó conforme aumentó la dosis de selenio (Figura 5). Shi *et al.* (2011) demostraron que la fracción soluble de la harina de soja aumentó linealmente con la concentración de selenio; mientras que la velocidad de degradación fraccionaria de la materia seca disminuyó cuadráticamente. Martínez y Church (1970) demostraron que la suplementación de selenio a dosis de 0.01 y 5 mg kg⁻¹ MS, redujo ligeramente la DIVMS, y cuando la suplementación fue mayor (7 a 20 mg kg⁻¹ MS), se afectó más fuertemente la DIVMS. Serra *et al.* (1994b) no observaron cambios significativos sobre la digestibilidad de MS, MO, PC, FDN y FDA con la adición de 0.2 mg Se kg⁻¹ MS, con selenito y selenato de sodio y una dieta a base de forraje, por lo que concluyeron que el selenio no es un elemento esencial para los microorganismos celulolíticos del rumen, pero sí es inhibidor de dichos microorganismos y, probablemente estimule los microorganismos proteolíticos.

3.6 Conclusión

La inclusión de selenio en dietas a base de concentrado para la engorda intensiva de corderos, a una dosis entre 0.3 a 0.9 mg Se kg⁻¹ MS, promueve la fermentación de carbohidratos solubles, la utilización ruminal de los compuestos nitrogenados, sin modificar las fuentes de energía, y deprime la digestibilidad de la materia seca de la dieta.

Es conveniente investigar dosis poco mayores a las usadas en esta investigación para precisar la dosis requerida y mejorar la fermentación ruminal, así como para incrementar la biodisponibilidad de selenio para el rumiante, en diversos sistemas de producción ovina.

3.7 Literatura citada

- Arelovich, H. M. 2008. Elementos minerales. Su impacto en la fermentación ruminal. *Revista Argentina de Producción Animal* 28 (3): 235-253.
- Blümmel, M., J. W. Cone, A. H. Van Gelder, I. Nshalai, N. Umanna, H. P. S. Makkar and K. Becker. 2005. Prediction of forage intake using *in vitro* gas production methods: Comparison of multiphase fermentation kinetics measured in an automated gas test, and combined gas volume and substrate degradability measurements in a manual syringe system. *Animal Feed Science and Technology* 123: 517-526.
- Cruz-Monterrosa, R. G., E. Ramírez-Bribiesca, M. A. Cobos-Peralta, A. L. Revilla-Vázquez, M. M. Crosby-Galván y J. L. Cordero-Mora. 2011. Disponibilidad de selenio complementado con selenito de sodio y selenometionina en corderos. *Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XXI, N° 1*: 31–38.
- De Visser, H., H. Valk, A. Klop, J. Van Der Meulen, J. G. M. Bakker, and G. B. Huntington. 1997. Nutrient fluxes in splanchnic tissue of dairy cows: Influence of grass quality. *Journal of Dairy Science*. 80: 1666-1672.
- Del Razo-Rodriguez, O. E., J. E. Ramirez-Bribiesca, R. Lopez-Arellano, A. L. Revilla-Vazquez, S. S. Gonzalez-Munoz, M. A. Cobos-Peralta, L. M. Hernandez-Calva, L. R. McDowell. 2013. Effects of dietary level of selenium and grain on digestive metabolism in lambs. *Czech Journal of Animal Science* 58: 253-261.
- Erwin, E. S., G. J. Marco and E. Emery. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science* 44: 1768-1776.
- Feasenhiser, D. 2005. The effects of organic selenium on rumen volatile fatty acid production in continuous culture. *Cantaurus* 13: 10–13.
- Harrison, J. H., and H. R Conrad. 1984. Effect of calcium on selenium absorption by the nonlactating dairy cow. *Journal of Dairy Science* 67: 1860-1864.
- Hidiroglou, M., and J. R. Lessard. 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 for Vitamin and Nutrition Research* 46: 458-463.
- Hoover, W. H., and S. R. Stokes. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of Dairy Science* 74: 3630-3644.

- Hudman, J. F. and A. R. Glenn. 1984. Selenite intake and incorporation by *Selenomonas ruminantium*. Archives of Microbiology 140: 252-256.
- Jacques, K., and C. McKenzie. 1991. Organic trace minerals on the farm. Feeds and Feeding 16: 155-162.
- Kim, J., P. J. Van Soest, and G. F. Jr. Combs. 1997. Studies on the effects of selenium on rumen microbial fermentation *in vitro*. Biological Trace Element Research 56: 203-213.
- Leng, R. A., and J. V. Nolan. 1984. Nitrogen metabolism in the rumen. *In*: Symposium: Protein Nutrition of the Lactating Dairy Cow. Journal of Dairy Science 67: 1072-1089.
- Martínez, A., and D. C. Church. 1970. Effect of various mineral elements on *in vitro* rumen cellulose digestion. Journal of Animal Science 31: 982-990.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. Clinica Chimica Acta 17: 297-304.
- McDowell, L. R., P. A. Davis, L. A. Cristaldi, N. S. Wilkinson, C. D. Buergelt, and R. Van Alstyne. 2005. Selenium toxicity for ruminants- Paranoia or precaution. *In*: Florida Ruminant Nutrition Symposium. Univ. Florida, Gainesville. pp: 38-49.
- Menke, K. H., and H. Steingas. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vivo* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development 28: 7-55.
- Mouriño, F., R. Akkarawongsa, and P. J. Weimer. 2001. Initial pH as a determinant of cellulose digestion rate by mixed ruminal microorganisms *in vitro*. Journal of Dairy Science 84: 848-859.
- Naziroglu, M., M. Aksakal, M. Cay, and S. Celik. 1997. Effects of vitamin E and selenium on some rumen parameters in lambs. Acta Veterinaria Hungarica 45: 447-456.
- NRC (National Research Council). 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. Natl. Acad. Press, Washington, DC. USA. 586 p.
- Peterson, P. J., and D. J. Spedding. 1963. The excretion by sheep of Se-75 incorporated in red clover. The chemical nature of the excreted selenium and its uptake by three plant species. New Zealand Journal of Agricultural Research 6: 13-22.
- Russell, J. B., and J. L. Rychlik. 2001. Factors that alter rumen microbial ecology. Science 292: 1119-1122.
- SAS (Statistical Analysis System). 2009. SAS/STAT User's guide (release 9.1) SAS Inst. Inc., Cary, N.C.
- Satter, L. D., and L. L. Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production *in vitro*. British Journal of Nutrition 32: 199-208.

- Schofiel, P., and A. N. Pell. 1995. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *Journal of Animal Science* 73: 3455-3463.
- Serra, A. B., K. Nakamura, T. Matsui, T. Harumoto, and T. Fujihara. 1994a. Inorganic selenium for sheep. I. selenium balance and selenium levels in the different ruminal fluid fractions. *Asian-australasian Journal of Animal Science* 7: 83-89.
- Serra, A. B., K. Nakamura, T. Matsui, T. Harumoto, and T. Fujihara. 1994b. Inorganic selenium for sheep. II. Its influence on rumen bacterial yield, volatile fatty acid production and total tract digestion of timothy hay. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 7: 91-96.
- Shi, L., W. Xun, W. Yue, C. Zhang, Y. Ren, Q. Liu, Q. Wang, and L. Shi. 2011. Effect of elemental nano-selenium on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Animal Feed Science and Technology* 163: 136–142.
- Sunde, R. A. 1990. Molecular biology of selenoproteins. *Annual Review of Nutrition* 10: 451-474.
- Sunde, R. A. 1997. Selenium. *In: Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*, O'Dell, B. L. and R.A. Sunde (Eds.). Marcel Dekker Inc., New York, pp: 493-556.
- Suttle, N. F. 1987. The absorption, retention and function of minor nutrients. *In: Hacker, J. B. and Ternouth, J. H. (Eds). The Nutrition of Herbivores*. Academic Press Australia, pp: 333-362.
- Van Saun, R. J. 1990. Rational approach to selenium supplementation essentials. *Feedstuffs* 15: 15-17.
- Wang, C., Q. Liu, W. Z. Yang, Q. Dong, X. M. Yang, D. C. He, P. Zhang, K. H. Dong, and Y. X. Huang. 2009. Effects of selenium yeast on rumen fermentation, lactation performance and feed digestibilities in lactating dairy cows. *Livestock Science* 126: 239-244.
- Williams, B. A. 2000. Cumulative Gas-production Techniques for Forage Evaluation. *In: Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. Eds. D. J. Givens, E. Owens, R. F. E. Axford and H. M. Omed. CAB International. pp: 189-213.

4. PERFIL DEL PROCESO DE ENGORDA DE CORDEROS AL VARIAR FUENTE Y CONCENTRACIÓN DE SELENIO EN LA DIETA

4.1 Resumen

Con el objetivo de evaluar las características productivas y de la canal al ofrecer dietas con diferente fuente (orgánico e inorgánico) y contenido (0.3, 0.6 y 0.9 mg selenio kg^{-1} MS de la dieta) de selenio, se utilizaron 24 hembras y 12 machos para las dietas experimentales con selenio y dos hembras y un macho para el tratamiento testigo sin selenio; bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, con tres repeticiones, donde la unidad experimental fue de dos corderos para los tratamientos con selenio y de un cordero para el tratamiento testigo sin selenio. Las variables evaluadas fueron consumo de alimento (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), peso vivo final (PVF), rendimiento de la canal caliente (RCC), rendimiento de la canal fría (RCF) y grosor de grasa dorsal (GGD). Se utilizó el peso vivo inicial como covariable para GDP y PVF; mientras que el PVF se utilizó como covariable para RCC, RCF y GGD. Los análisis de las variables se realizaron por PROC GLM y comparando las medias con la prueba Tukey. Las variables en estudio no fueron afectadas por los tratamientos ($P > 0.05$); sin embargo CMS presentó la tendencia ($P = 0.08$) a ser mayor en los grupos de corderos que fueron suplementados con selenio en comparación con el grupo del tratamiento testigo. Se concluye la fuente y dosis de selenio no afectó las características productivas y de la canal.

Palabras claves: selenio, comportamiento productivo, canal, grasa, ovinos, confinamiento.

PROFILE OF LAMB FATTENING PROCESS WHEN VARYING SOURCE AND CONCENTRATION OF SELENIUM ON DIET

4.2 Abstract

To evaluate productive and carcass characteristics, 39 lambs were offered a control diet or with different source (organic and inorganic) and Se content (0.3, 0.6 and 0.9 mg kg⁻¹ diet DM). Lambs were assigned to experimental diets by sex (block). Data was analyzed in a completely random block design, with three replicates, where the experimental units for treatments with selenium were two lambs and a lamb for the control treatment without selenium. The evaluated variables were intake feed (IF), average daily gain (ADG), feed conversion (FC), final live weight (FLW), hot carcass yield (HCY), cold carcass yield (CCY) and back fat thickness (BFT). Initial live weight was used as covariate for ADG and FLW, whereas the FLW was used as covariate for HCY, CCY and BFT. Variables analysis were done through PROC GLM and Tukey test was used to compare the media. The variables in this study were not effected by the treatments ($P>0.05$); however, IF tended ($P=0.08$) to be higher in lambs supplemented with selenium than those of the control group. It is concluded that source and selenium doses did not affect the productive and carcass characteristics.

Key words: selenium, productive performances, carcass, fat, ovine, confinement.

4.3 Introducción

La deficiencia de selenio en los ovinos, es un problema grave en México, encontrándose la mayor deficiencia en los estados situados en la Meseta Central del país, sugiriéndose la inclusión de selenio en las premezclas de minerales para corregir la deficiencia (Ramírez-Briebesca, 2010). Se reconocen dos fuentes químicas (inorgánicas y orgánicas) para suministrar selenio en la dieta de los rumiantes (Segovia, 2005). El selenito de sodio es la fuente inorgánica de selenio más utilizada como suplemento en la alimentación de rumiantes. Como una fuente orgánica, recientemente se comercializa levadura enriquecida con selenio, alta en Se-metionina, la cual fue aprobada como aditivo en los alimentos para ovinos y caprinos en 2005 por la Food and Drug Administration de USA (López-Gutiérrez *et al.*, 2012).

Dentro del aporte balanceado y oportuno de minerales, se ha investigado sobre fuentes y cantidades de selenio suministrado en las dietas para corderos en confinamiento, lo cual ha resultado de suma importancia ya que, aparte de contrarrestar la deficiencia de este mineral en el organismo del animal, llega a tener efectos positivos sobre la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia de los corderos en engorda; sin embargo, en otros trabajos se ha reportado lo contrario (Johansson *et al.*, 1990; Juniper *et al.*, 2006; Vignola *et al.*, 2009).

Esta controversia está dada por la fuente química del selenio, la dosis usada y por la cantidad inicial de selenio en el organismo del ovino, de tal manera que muchos autores concluyen que la utilización de selenio en las dietas, puede influir en el perfil del proceso de engorda de los corderos, siempre y cuando exista una severa deficiencia de este mineral en el organismo del animal. Por ello, el objetivo de esta investigación es describir el perfil del proceso de engorda de corderos mediante la determinación de las características productivas y de la canal al ofrecer dietas con diferente fuente y contenido de selenio.

4.4 Materiales y métodos

La fase experimental se realizó en la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. El número total de corderos usados fue de 39, de la raza Pelibuey-Canelo. Se evaluó el selenito de sodio (Na_2SeO_3) y levadura enriquecida con selenio (Sel-plex®) en tres dosis (0.3, 0.6 y 0.9 mg kg^{-1} MS) en la dieta de engorda. Los tratamientos fueron siete como resultado de la combinación de las dos fuentes y las tres proporciones de selenio, más un tratamiento testigo sin selenio: Ss-0.3 (selenito de sodio a 0.3 mg kg^{-1}), Ss-0.6 (selenito de sodio a 0.6 mg kg^{-1}), Ss-0.9 (selenito de sodio a 0.9 mg kg^{-1}), Spx0.3 (levadura enriquecida con selenio a 0.3 mg kg^{-1}), Spx0.6 (levadura enriquecida con selenio a 0.6 mg kg^{-1}), Spx0.9 (levadura enriquecida con selenio a 0.9 mg kg^{-1}), y tratamiento testigo sin selenio (Tt0). La composición de la dieta base se muestra en el Cuadro 9.

Los tratamientos se asignaron bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar; para los tratamientos con selenio se utilizaron 24 hembras y 12 machos; y para el tratamiento testigo sin selenio se utilizaron dos hembras y un macho. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones, donde la unidad experimental fue de dos corderos para los tratamientos con selenio y de un cordero para Tt0.

Cuadro 9. Ingredientes y composición nutricional de la dieta base para corderos.

Composición	Porcentaje de inclusión (%)
Maíz rolado	30.0
Maíz molido	29.0
Rastrojo de maíz	14.0
Cascarilla de soya	8.0
Pasta de soya	6.0
Melaza	5.0
Gluten de maíz	4.4
Mezcla mineral †	1.5
Carbonato de calcio	1.0
Urea	0.5
Sal común	0.5
Grasa de sobrepaso	0.1
<i>Nutrientes</i>	
MS, %	87.0
EM, Mcal kg ⁻¹	2.8
PC, %	16
PCNDR, %	6
FC, %	10
E.E., %	3.3
Cenizas, %	5.8
Vit. A, UI kg ⁻¹	1.5
Vit. E, UI kg ⁻¹	16.7
Se, mg kg ⁻¹ MS	0.1

†Mezcla mineral: Ca, 24%; Cl, 12%; Na, 8%; P, 3%; Mg, 2%; S, 0.5%; K, 0.5%; Zn, 5000 mg kg⁻¹; Mn, 4000 mg kg⁻¹; Fe, 2000 mg kg⁻¹; I, 100 mg kg⁻¹; Co, 60 mg kg⁻¹; Cr, 5 mg kg⁻¹; Vitamina A, 500000 UI kg⁻¹; Vitamina D, 300000 UI kg⁻¹; Vitamina E, 1000 UI kg⁻¹. MS: Materia seca; EM: Energía metabolizable; PC: Proteína cruda; PCNDR: Proteína cruda no degradable en rumen; FC: Fibra cruda; E.E: Extracto etéreo.

Los corderos fueron recién destetados, con un peso promedio de 23±1.1 kg, procedente del Rancho “El Gargaleote” ubicado en Tamuín, San Luis Potosí. A la recepción y por única vez los corderos fueron desparasitados (Ivermectina; 1 ml 50 kg⁻¹ PV) y vacunados (bacterina 8 vías; 2.5 ml por cordero). Se alojaron en corraletas experimentales por 75 días, donde el periodo de adaptación a la dieta duró 15 días.

La rutina diaria de alimentación fue la siguiente: la cantidad de alimento se repartió equitativamente en dos ofrecimientos, a las 7:00 y 16:00 horas, se

procuró una alimentación a libre acceso, garantizando aproximadamente el 5% de rechazo, para ello diariamente antes del ofrecimiento matutino del día, se pesó la cantidad de material rechazado, para ajustar la cantidad ofrecida de alimento, el ajuste se realizó una vez por semana.

El consumo de alimento se determinó diariamente mediante la diferencia del alimento ofrecido menos el rechazado. Cada catorcena se pesaron los corderos, previo al ofrecimiento matutino de alimento, con la diferencia en peso vivo dividido entre los días transcurridos entre pesajes se calculó la ganancia diaria de peso. La conversión alimenticia se calculó cada catorce días dividiendo el consumo de alimento entre la ganancia de peso.

Al final del periodo experimental, de cada uno de los tratamientos con selenio se seleccionaron al azar cuatro corderos, y para el tratamiento testigo sin selenio se tomaron los tres corderos; los cuales fueron sacrificados. Al sacrificio cada canal se pesó inmediatamente para conocer el rendimiento de la canal caliente, y para conocer el rendimiento de la canal fría, esta se pesó después de 24 h *postmortem*; tiempo en el cual también se registró el grosor de grasa dorsal, que fue registrada con un vernier manual, realizando una incisión perpendicular a 4 cm del borde posterior de la 12ª costilla, la medición se realizó en el punto de intersección de la incisión.

Las variables de respuesta fueron: consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), rendimiento de la canal caliente (RCC), rendimiento de la canal fría (RCF) y el grosor de la grasa dorsal (GGD). Las variables CMS, GDP y CA también se analizaron por periodo de cada 14 días.

Las variables se analizaron con el modelo siguiente y el paquete estadístico SAS (S.A.S., 2009): $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \beta (X_{ij} - \bar{X}_{..}) + E_{ij}$.

Dónde: Y_{ij} = valores de las variables respuestas en los corderos, con el i -ésimo tratamiento y en el j -ésimo bloque (género); T_i = efecto de i -ésimo tratamiento;

B_j = efecto de bloque (género); β = coeficiente de regresión; X_{ij} = covariable (peso vivo inicial para GDP y PVF, y peso vivo final para RCC, RCF y GGD) y E_{ij} = error aleatorio. Las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante el procedimiento de Tukey con $\alpha= 0.05$.

4.5 Resultados y discusión

Las características productivas de los corderos no fueron afectadas por los tratamientos (Cuadro 10); sin embargo, el CMS tuvo una tendencia ($P= 0.08$) a ser 20% mayor cuando se adicionó selenio a la dieta (1.262 vs 0.979 kg cordero⁻¹ día⁻¹). Los valores promedios para GDP, CA y PVF fueron 0.242 kg cordero⁻¹ día⁻¹, 5.8 kg MS por kg de ganancia de peso y 39.5 kg, respectivamente; estos resultados mostraron un comportamiento productivo sin diferencia por efecto de tratamiento ($P>0.05$).

Cuadro 10. Características productivas de los corderos. Medias $\pm$ error estándar.

Variables	Tratamientos							$\bar{Y}$	Pr
	Ss-0.3	Ss-0.6	Ss-0.9	Spx0.3	Spx0.6	Spx0.9	Tt0		
Consumo, kg cordero ⁻¹ día ⁻¹	1.268 ± 0.067	1.257 ± 0.065	1.249 ± 0.065	1.244 ± 0.066	1.281 ± 0.066	1.275 ± 0.066	0.979 ± 0.097	1.222	0.084
Ganancia de peso, kg cordero ⁻¹ día ⁻¹	0.247 ± 0.255	0.234 ± 0.032	0.260 ± 0.032	0.231 ± 0.032	0.241 ± 0.032	0.251 ± 0.032	0.228 ± 0.047	0.242	0.993
Conversión alimenticia, consumo ganancia ⁻¹	5.3 ± 0.52	5.6 ± 0.50	4.9 ± 0.50	6.7 ± 0.50	6.3 ± 0.51	6.1 ± 0.51	5.6 ± 0.75	5.8	0.251
Peso vivo final, kg	38.5 ± 1.4	37.7 ± 1.4	39.1 ± 1.4	39.00 ± 1.4	40.2 ± 1.4	39.5 ± 1.4	42.5 ± 2.1	39.5	0.810

Ss-0.3: selenito de sodio a 0.3 mg kg⁻¹; Ss-0.6: selenito de sodio a 0.6 mg kg⁻¹; Ss-0.9: selenito de sodio a 0.9 mg kg⁻¹; Spx0.3: levadura enriquecida con selenio a 0.3 mg kg⁻¹; Spx0.6: levadura enriquecida con selenio a 0.6 mg kg⁻¹; Spx0.9: levadura enriquecida con selenio a 0.9 mg kg⁻¹; Tt0: tratamiento testigo sin selenio; $\bar{Y}$ = Promedio; Pr= Probabilidad.

Los resultados de consumo de alimento por periodo de los corderos para cada tratamiento se presentan en el Cuadro 11, en el cual se observa que no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos para todos los periodos de consumo ($P>0.05$).

Cuadro 11. Consumo de alimento por periodo en los corderos. Medias $\pm$ error estándar.

Periodo	Tratamientos							$\bar{Y}$	Pr
	Ss-0.3	Ss-0.6	Ss-0.9	Spx0.3	Spx0.6	Spx0.9	Tt0		
1-14	0.988 $\pm.109$	0.985 $\pm.106$	0.976 $\pm.106$	1.018 $\pm.107$	1.028 $\pm.107$	0.974 $\pm.107$	1.180 $\pm.158$	1.021	0.930
15-28	1.208 $\pm.099$	1.232 $\pm.096$	1.197 $\pm.096$	1.251 $\pm.097$	1.216 $\pm.097$	1.199 $\pm.097$	1.202 $\pm.144$	1.215	0.999
29-42	1.417 $\pm.123$	1.372 $\pm.119$	1.369 $\pm.119$	1.324 $\pm.120$	1.355 $\pm.120$	1.425 $\pm.120$	1.341 $\pm.178$	1.372	0.996
43-56	1.467 $\pm.124$	1.417 $\pm.121$	1.527 $\pm.121$	1.408 $\pm.121$	1.414 $\pm.122$	1.461 $\pm.122$	1.428 $\pm.180$	1.446	0.983
57-70	1.250 $\pm.138$	1.167 $\pm.182$	1.398 $\pm.182$	1.293 $\pm.103$	1.370 $\pm.139$	1.405 $\pm.120$	0.998 $\pm.374$	1.269	0.717
71-84	1.395 $\pm.244$	1.203 $\pm.324$	1.301 $\pm.324$	1.265 $\pm.183$	1.410 $\pm.247$	1.308 $\pm.212$	1.036 $\pm.662$	1.274	0.964
1-84	1.288 $\pm.107$	1.230 $\pm.104$	1.295 $\pm.104$	1.260 $\pm.104$	1.299 $\pm.105$	1.295 $\pm.105$	1.198 $\pm.155$	1.266	0.998

Ss-0.3: selenito de sodio a 0.3 mg kg⁻¹; Ss-0.6: selenito de sodio a 0.6 mg kg⁻¹; Ss-0.9: selenito de sodio a 0.9 mg kg⁻¹; Spx0.3: levadura enriquecida con selenio a 0.3 mg kg⁻¹; Spx0.6: levadura enriquecida con selenio a 0.6 mg kg⁻¹; Spx0.9: levadura enriquecida con selenio a 0.9 mg kg⁻¹; Tt0: tratamiento testigo sin selenio; $\bar{Y}$ = Promedio; Pr= Probabilidad.

En la GDP por periodo fue estadísticamente diferente entre tratamientos ($P<0.05$) únicamente para los tres primeros periodos de la fase experimental. En el periodo de 1 a 14 días los corderos que se suplementaron con la dosis de 0.3 mg Se kg⁻¹ MS de selenio orgánico, son los que presentaron mayores ganancias de pesos al día; mientras que en el periodo de 15 a 28 días fueron los corderos que se suplementaron con la dosis de 0.3 mg Se kg⁻¹ MS pero de selenio inorgánico. En el periodo de 29 a 42 días los corderos que se suplementaron con la dosis de 0.9

mg Se kg⁻¹ MS de selenio orgánico, son los que presentaron mayores ganancias de pesos al día (Cuadro 12).

Cuadro 12. Ganancia de peso por periodo en los corderos. Medias $\pm$ error estándar.

Periodo	Tratamientos							$\bar{Y}$	Pr
	Ss-0.3	Ss-0.6	Ss-0.9	Spx0.3	Spx0.6	Spx0.9	Tt0		
1-14	0.180 ^b ± 0.036	0.256 ^{ab} ± 0.036	0.315 ^{ab} ± 0.036	0.346 ^a ± 0.036	0.244 ^{ab} ± 0.036	0.250 ^{ab} ± 0.040	0.190 ^b ± 0.061	0.255	0.046
15-28	0.273 ^a ± 0.031	0.125 ^b ± 0.031	0.143 ^{ab} ± 0.031	0.113 ^b ± 0.031	0.208 ^{ab} ± 0.031	0.137 ^{ab} ± 0.031	0.205 ^{ab} ± 0.052	0.172	0.009
29-42	0.149 ^{ab} ± 0.030	0.250 ^{ab} ± 0.029	0.171 ^{ab} ± 0.032	0.143 ^{ab} ± 0.035	0.179 ^{ab} ± 0.029	0.280 ^a ± 0.029	0.117 ^b ± 0.049	0.184	0.013
43-56	0.429 ^a ± 0.043	0.333 ^a ± 0.042	0.446 ^a ± 0.042	0.381 ^a ± 0.042	0.345 ^a ± 0.042	0.381 ^a ± 0.042	0.417 ^a ± 0.072	0.390	0.443
57-70	0.107 ^a ± 0.041	0.089 ^a ± 0.035	0.071 ^a ± 0.034	0.134 ^a ± 0.023	0.125 ^a ± 0.027	0.179 ^a ± 0.026	0.143 ^a ± 0.061	0.121	0.443
71-84	0.214 ^a ± 0.088	0.125 ^a ± 0.075	0.196 ^a ± 0.075	0.152 ^a ± 0.050	0.268 ^a ± 0.059	0.167 ^a ± 0.056	0.071 ^a ± 0.131	0.170	0.465
1-84	0.225 ^a ± 0.025	0.196 ^a ± 0.024	0.224 ^a ± 0.024	0.212 ^a ± 0.024	0.228 ^a ± 0.024	0.232 ^a ± 0.024	0.190 ^a ± 0.041	0.215	0.964

^{a, b} Medias dentro de hileras con distintas literales son diferentes, ($P \leq 0.05$). Ss-0.3: selenito de sodio a 0.3 mg kg⁻¹; Ss-0.6: selenito de sodio a 0.6 mg kg⁻¹; Ss-0.9: selenito de sodio a 0.9 mg kg⁻¹; Spx0.3: levadura enriquecida con selenio a 0.3 mg kg⁻¹; Spx0.6: levadura enriquecida con selenio a 0.6 mg kg⁻¹; Spx0.9: levadura enriquecida con selenio a 0.9 mg kg⁻¹; Tt0: tratamiento testigo sin selenio; $\bar{Y}$ = Promedio; Pr= Probabilidad.

En el Cuadro 13 se presenta los resultados de la conversión alimenticia (consumo ganancia⁻¹) por periodo en los corderos, en el cual se observa que no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos para todos los periodos de conversión alimenticia ($P > 0.05$).

Cuadro 13. Conversión alimenticia por periodo en los corderos, consumo ganancia⁻¹. Medias $\pm$ error estándar.

Periodo	Tratamientos							$\bar{Y}$	Pr
	Ss-0.3	Ss-0.6	Ss-0.9	Spx 0.3	Spx 0.6	Spx 0.9	Tt0		
1-14	5.6 ± 0.6	4.4 ± 0.6	3.1 ± 0.6	3.0 ± 0.6	4.5 ± 0.6	4.6 ± 0.6	4.3 ± 1.1	4.2	0.137
15-28	4.5 ± 1.3	7.8 ± 2.1	5.3 ± 1.5	7.2 ± 2.1	6.4 ± 1.2	7.6 ± 1.6	6.8 ± 2.03	6.5	0.575
29-42	7.9 ± 1.5	6.3 ± 1.1	6.2 ± 1.9	9.9 ± 1.3	7.8 ± 1.1	5.1 ± 1.1	6.9 ± 2.2	7.2	0.282
43-56	3.5 ± 0.5	4.4 ± 0.5	3.6 ± 0.5	3.8 ± 0.5	4.4 ± 0.5	3.9 ± 0.5	3.4 ± 0.7	3.9	0.591
57-70	9.4 ± 2.0	-	-	10.0 ± 0.9	11.0 ± 1.3	8.2 ± 1.0	7.0 ± 2.5	6.5	0.538
71-84	5.1 ± 2.1	9.6 ± 2.1	6.7 ± 1.6	9.1 ± 1.3	5.4 ± 1.6	8.0 ± 1.1	-	6.3	0.325
1-84	6.0 ± 0.5	5.4 ± 0.5	4.2 ± 0.5	7.2 ± 0.5	6.6 ± 0.5	6.2 ± 0.5	5.7 ± 0.7	5.8	0.251

Ss-0.3: selenito de sodio a 0.3 mg kg⁻¹; Ss-0.6: selenito de sodio a 0.6 mg kg⁻¹; Ss-0.9: selenito de sodio a 0.9 mg kg⁻¹; Spx0.3: levadura enriquecida con selenio a 0.3 mg kg⁻¹; Spx0.6: levadura enriquecida con selenio a 0.6 mg kg⁻¹; Spx0.9: levadura enriquecida con selenio a 0.9 mg kg⁻¹; Tt0: tratamiento testigo sin selenio; $\bar{Y}$ = Promedio; Pr= Probabilidad.

Los resultados de las características de la canal de los corderos para cada tratamiento se presentan en el Cuadro 14, en el cual se observa que no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos para todas las variables en estudio ($P > 0.05$).

Cuadro 14. Rendimiento en canal y grosor de grasa dorsal de los corderos. Medias $\pm$ error estándar.

Rendimiento de la canal	Tratamientos							$\bar{Y}$	Pr
	Ss-0.3	Ss-0.6	Ss-0.9	Spx0.3	Spx0.6	Spx0.9	Tt0		
Canal caliente, %	54.2 ± 0.98	54.1 ± 0.96	52.8 ± 0.96	52.5 ± 0.99	52.1 ± 0.97	52.8 ± 0.96	53.2 ± 1.22	53.1	0.694
Canal fría, %	53.1 ± 1.01	53.0 ± 0.99	51.5 ± 0.99	50.1 ± 1.02	51.1 ± 1.00	51.4 ± 0.99	52.2 ± 1.26	51.7	0.320
Grosor de grasa dorsal, mm	2.7 ± 0.33	2.3 ± 0.32	2.5 ± 0.32	2.2 ± 0.33	2.5 ± 0.33	1.9 ± 0.32	2.2 ± 0.41	2.3	0.800

Ss-0.3: selenito de sodio a 0.3 mg kg⁻¹; Ss-0.6: selenito de sodio a 0.6 mg kg⁻¹; Ss-0.9: selenito de sodio a 0.9 mg kg⁻¹; Spx0.3: levadura enriquecida con selenio a 0.3 mg kg⁻¹; Spx0.6: levadura enriquecida con selenio a 0.6 mg kg⁻¹; Spx0.9: levadura enriquecida con selenio a 0.9 mg kg⁻¹; Tt0: tratamiento testigo sin selenio; $\bar{Y}$ = Promedio; Pr= Probabilidad.

El perfil del proceso de engorda de los corderos no fue afectado por la suplementación de selenio en la dieta, pero las características productivas de los corderos del presente estudio, coinciden con los reportados en literatura, al alimentar corderos con dietas de similar aporte de energía (2.85 Mcal kg⁻¹) y proteína cruda (16%) (Solís *et al.*, 1991).

De acuerdo con Swecker *et al.* (1989) la suplementación del selenio puede mejorar el comportamiento productivo de los animales, indirectamente mediante el fortalecimiento de su inmunocompetencia, permitiéndoles soportar mejor la condición de estrés de los sistemas de engorda intensivo; sin embargo, en este estudio no se presentó mejora en las características productivas ni de la canal, probablemente esto se deba a que los corderos en experimentación tenían adecuados niveles de selenio en suero (0.082 mg L⁻¹), nivel que estuvo dentro de los niveles recomendados como adecuados según Puls (1988). Una deficiencia de selenio provoca disminución de la función inmune celular y humoral tanto en humanos como en animales de laboratorio (Combs y Combs, 1986); por lo cual Johansson *et al.* (1990) mencionan que la suplementación de selenio puede llegar a tener efecto a la suplementación siempre y cuando exista deficiencia marcada de este mineral en el animal.

Los resultados reportados en la literatura sobre el incremento en ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y composición (grasa) de la canal, están relacionados con alteraciones a nivel de rumen, por lo que es importante saber que las concentraciones de selenio afecta el metabolismo en el rumen, principalmente a nivel de la digestibilidad de la materia seca, fibra, producción de AGV y nitrógeno amoniacal, así como su posible efecto en el pH, que puede afectar a la población microbiana y, por lo tanto, la respuesta productiva de los animales (Reséndiz, 2012). En el trabajo de evaluar las variables fermentativas ruminales de ovinos suplementados con selenio (presentado en el capítulo anterior), a los 45 días del experimento el pH, el N-NH₃, el volumen máximo de producción de gas y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca se incrementaron; lo cual puede estar relacionado con el efecto en la ganancia diaria de pesos de los corderos en los tres primeros periodos (0 a 42 días). En efecto en el presente estudio, los corderos presentaron diferencias en la ganancia diaria de peso solo en los tres primeros periodos, presentando mayores ganancia diaria de peso los corderos que consumieron las dietas suplementadas con 0.3 mg Se kg⁻¹ MS de selenio orgánico, 0.3 mg Se kg⁻¹ MS pero de selenio inorgánico y 0.9 mg Se kg⁻¹ MS de selenio orgánico; y dado que el consumo de MS fue similar entre tratamiento, la conversión alimenticia no se vio afectada por los tratamientos.

Estos resultados indican que la suplementación con selenio incrementó la ganancia diaria de peso sin afectar el consumo de alimento ni la conversión alimenticia; resultados que son similares a lo encontrado por Reséndiz (2012) al suplementar a corderos con cromo (1.4 mg Cr kg⁻¹ MS) y selenio (0.9 mg Se kg⁻¹ MS) quelatados. Rodríguez *et al.* (2011), menciona que la suplementación con selenio o cromo orgánicos (Cr + Se a dosis de 0.3 mg kg⁻¹ MS, y Cr + Se a dosis de 0.4 mg kg⁻¹ MS) quelatados con levaduras, mejoran la eficiencia parcial de utilización del alimento en ovinos sin afectar el consumo voluntario, lo cual también coincide con los resultados del presente estudio.

Vignola *et al.* (2009) no encontraron efecto de la suplementación de selenito de sodio ($0.3 \text{ mg Se kg}^{-1}$ de MS) y selenio orgánico (0.3 y 0.45 Se kg^{-1} de MS) en las características productivas y de la canal de ovinos, y concluyeron que el contenido de selenio de la dieta base ($0.13 \text{ mg Se kg}^{-1}$ de MS) presentes en los ingredientes utilizados, pudo haber satisfecho los requerimientos de selenio de los corderos.

McClure y Mahan (1988) no observaron efecto sobre la tasa de crecimiento en la finalización de ovinos, cuando se suplementó con 0.25 , 1.0 o $2.0 \text{ mg Se kg}^{-1}$ MS de selenito de sodio. Domínguez-Vara *et al.* (2009), tampoco observaron diferencias en las características productivas y de la canal de los corderos Rambouillet en finalización, al ser suplementados con selenio orgánico a dosis de $0.3 \text{ mg Se kg}^{-1}$ de MS. Johannes (2012) no obtuvo diferencias en las características productivas de ovinos Merino al ser suplementados con $0.36 \text{ mg Se kg}^{-1}$ de MS, de selenio orgánico e inorgánico; sin embargo, Kumar *et al.* (2009) al evaluar las características productivas de corderos Muzaffarnagari, suplementados con selenio a dosis de 0.15 mg kg^{-1} MS, obtuvieron diferencias en la ganancia diaria de peso, teniendo el mayor resultado con selenio orgánico (110 vs $98 \text{ g}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

Davis *et al.* (2008) utilizaron dosis diferentes a la utilizada en este experimento, para suplementar selenio, observaron que los ovinos que recibieron 30 y 40 mg Se kg^{-1} MS de selenio orgánico, el peso corporal tendió a disminuir, pero los ovinos que recibieron 0.2 y 20 mg Se kg^{-1} MS de selenio inorgánico y orgánico, el peso aumentó 20% . La falta de respuesta a la suplementación de selenio, puede estar influenciado por el estatus inicial de selenio en el cordero y la disponibilidad en la dieta basal (Domínguez-Vara *et al.*, 2009). Se puede llegar a tener efecto a la suplementación siempre y cuando exista deficiencia marcada de este mineral en el animal (Johansson *et al.*, 1990). Por lo tanto, si no hay una evidente falta del mineral en el cordero, la suplementación de selenio, sería poco probable que influya en las características productivas y de la canal (Vignola *et al.*, 2009).

4.6 Conclusión

El perfil del proceso de engorda de corderos fue similar en características productivas y de la canal con las diferentes fuentes y concentraciones de selenio ofrecidas en las dietas.

4.7 Literatura citada

- Combs, G. F. Jr., and S. B. Combs. 1986. The role of selenium in nutrition. Orlando, Florida: Academic press. 532 p.
- Davis, P. A., L. R. McDowell, N. S. Wilkinson, C. D. Buergelt, R. Van Alstyne, R. N. Weldon, T. T. Marshall, and E. Y. Matsuda-Fugisaki. 2008. Comparative effects of various dietary levels of Se as sodium selenite or Se yeast on blood, wool, and tissue Se concentrations of wether sheep. *Small Ruminant Research* 74: 149–158.
- Domínguez-Vara, I. A., S. S. González-Muñoz, J. M. Pinos-Rodríguez, J. L. Bórquez-Gastelum, R. Bárcena-Gama, G. Mendoza-Martínez, L. E. Zapata, and L. L. Landois-Palencia. 2009. Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. *Animal Feed Science and Technology* 152: 42–49.
- Johannes, E. J. 2012. The effects of different selenium sources on the meat quality and bioavailability of selenium in lambs. Thesis presented in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science. Faculty of AgriSciences at Stellenbosch University. Stellenbosch, South Africa. 60 p.
- Johansson, E., S. O. Jacobson, J. Luthman, and U. Lindlu. 1990. The biological response of selenium in individual erythrocytes and GSH-Px in lambs fed sodium selenite or selenium yeast. *Zentralblatt für Veterinarmedizin* 37(6): 463–470.
- Juniper, D. T., R. H. Phipps, A. K. Jones, and G. Bertin. 2006. Selenium supplementation of lactating dairy cows: effect on selenium concentration in blood, milk, urine and feces. *Journal of Dairy Science* 89: 3544–3551.
- Kumar, N., A. K. Garg, R. S. Dass, V. K. Chaturvedi, V. Mudgal, and V. P. Varshney. 2009. Selenium supplementation influences growth performance, antioxidant status and immune response in lambs. *Animal Feed Science and Technology* 153: 77–87.
- López-Gutiérrez, A. G., J. E. Ramírez-Bribiesca, R. López-Arellano, A. Revilla-Vázquez, J. Tórtora-Pérez, y J. R. Bárcena-Gama. 2012. Balance de selenio en corderos suplementados con selenio orgánico. *Universidad y Ciencia* 28(2):173-180.

- McClure, K. E., and D. C. Mahan. 1988. Effect of dietary selenium source on retention, digestibility and wool accumulation of selenium in growing lambs. *Nutrition Reports International* 37: 839–846.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Published by Sherpa International. Clearbrook, British Columbia, Canada. 154 p.
- Ramírez-Bribiesca, E. 2010. Suplementación de selenio en áreas deficientes de México. Fortalecimiento del sistema producto ovinos. Tecnologías para Ovinocultores. México. pp: 21-25.
- Reséndiz H., M. 2012. Evaluación de dos compuestos comerciales con cromo + selenio quelatados y *Saccharomyces cerevisiae* en dietas para ovinos en engorda. Tesis de maestría. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 67 p.
- Rodríguez A., L. C., G. D. M. Mendoza, N. S. Mota, A. I. T. Osorio, H. R. Lee, y P. A. G. Hernández. 2011. Efecto del selenio y cromo orgánico sobre el comportamiento de ovinos en finalización. Nota técnica. Revista Científica, FCV-LUZ 21 (29): 152-155.
- SAS. 2009. SAS/STAT User's guide (release 9.1) SAS Inst. Inc., Cary, N.C.
- Segovia P. 2005. Comparación de dos fuentes de selenio (orgánico vs inorgánico) en ganancias de peso y parámetros ruminales en borregas lactantes. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México. 93 p.
- Solís, R. G., R. A. Castellanos, A. M. Velazquez and F. G. Rodriguez. 1991. Determination of nutritional requirements of growing hair sheep. *Small Ruminant Research* 4: 115-125.
- Swecker, W. S. Jr., D. E. Eversole, C. D. Thatcher, D. J. Blodgett, G. G. Schuring, and J. B. Meldrum. 1989. Influence of supplemental selenium on humoral immune response in weaned beef calves. *American Journal of Veterinary Research* 50: 1760–1763.
- Vignola, G., L. Lambertini, G. Mazzone, M. Giammarco, M. Tassinari, G. Martelli, and G. Bertin. 2009. Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science* 81: 678–68.

5. PROTEÍNAS SÉRICAS, SELENIO EN SUERO Y EN CARNE DE OVINOS AL SUPLEMENTAR SELENIO EN LA DIETA

5.1 Resumen

Se determinó el efecto de la fuente (orgánico e inorgánico) y dosis (0.3, 0.6 y 0.9 mg selenio kg^{-1} MS de la dieta) de selenio en los niveles de proteínas séricas (albúmina, alfa globulina, beta globulina y gamma globulina), selenio en suero y en carne de ovinos de engorda. Se utilizaron 39 corderos, 24 hembras y 12 machos, para suplementar los tratamientos con selenio y dos hembras y un macho para el tratamiento testigo sin selenio; utilizando un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones, la unidad experimental fue de dos corderos para los tratamientos con selenio y de un cordero para el tratamiento testigo. El nivel de selenio en suero se incrementó respecto al tiempo de muestreo en el periodo experimental ($P < 0.05$). Albúmina y gamma globulina también fueron afectadas por el tiempo de muestreo ($P < 0.05$). El nivel de selenio en suero y de selenio en carne en *Longissimus dorsi*, fueron mayores ($P < 0.05$) al suplementar selenio sin diferencia por la fuente de selenio. Las mayores niveles de albúmina se presentaron cuando se suplementó con selenio orgánico a dosis de 0.3 mg Se kg^{-1} MS y con selenio inorgánico a dosis de 0.6 y 0.9 mg Se kg^{-1} MS; con 0.3 mg Se kg^{-1} MS de selenio orgánico se presentó el menor nivel de alfa globulina ($P < 0.05$). La inclusión de selenio a dietas para la engorda intensiva de corderos promueve el aumento de selenio en suero, y afecta los niveles de las proteínas séricas del cordero. Además incrementa el nivel de selenio en carne, la cual al consumirla se aportará selenio a la dieta de los consumidores.

Palabras claves: selenio, plasma, tejido, ovinos, alimento

SERUM PROTEINS, SELENIUM IN SERUM AND SHEEP MEAT WHEN SUPPLEMENTING SELENIUM ON DIET

5.2 Abstract

The effect of the source (organic and inorganic) and selenium doses (0.3, 0.6 and 0.9 mg selenium kg⁻¹ MS of diet) was determined on serum protein levels (albumin, alphaglobulin, betaglobulin and gammaglobulin), selenium in serum and meat of sheep for fattening. Thirty-nine lambs, 24 females and 12 males were used to supplement the treatments with selenium and two females and a male for the control treatment without selenium; at a completely random block design with three replicates, the experimental units were two lambs for treatments with selenium and one lamb in the control treatment. The selenium level in serum increased regarding the sampling time during the experimental period ($P < 0.05$). Albumin and gammaglobulin were also effected by the sampling time ($P < 0.05$). Selenium level in serum and meat at *Longissimus dorsi* were higher ($P < 0.05$) when supplementing selenium without difference ($P > 0.05$) due to selenium source. Higher albumin levels were present when organic selenium was supplemented at 0.3 mg Se kg⁻¹ MS and inorganic selenium at 0.6 y 0.9 mg Se kg⁻¹ MS doses in relation to the other treatments; 0.3 mg Se kg⁻¹ MS of organic selenium gave the lowest ($P < 0.05$) level of alphaglobulin. The selenium inclusion on diets for intensive fattening of lambs increased selenium in serum, and effected the serum protein levels in lambs. Also, it increases the selenium level in meat, which may be also part of the consumers' diet.

Key words: selenium, plasma, tissue, ovine, food.

5.3 Introducción

La suplementación mineral de selenio en los ovinos es de suma importancia, fue implicado por primera vez como un nutriente esencial para los animales por Schwarz y Foltz (1957), y desde hace años se conoce que el selenio desempeña un papel importante en el sistema antioxidante, reproductivo, endocrino e inmunológico, ayudando a prevenir la enfermedad del músculo blanco en los ovinos (Hefnawy y Tórtora-Pérez, 2010).

Para que el selenio juegue un papel importante en el organismo del ovino, se debe suplementar de forma adecuada y corroborar el estatus de selenio en el organismo, evitando una deficiencia de este mineral (NRC, 2007). Las muestras de suero sanguíneo son unas de las más convenientes para diagnosticar el nivel de selenio, aunque también puede medirse en plasma y sangre entera. La actividad de la enzima glutatión peroxidasa de la hemoglobina también se puede medir para conocer la concentración de selenio, pero la repetibilidad de los resultados entre laboratorios es baja, por lo tanto este ensayo se utiliza menos. (Gerloff, 1992).

Al suplementar selenio, además de contrarrestar la deficiencia de este mineral en el organismo del ovino, se llega a distribuir y acumular selenio en los tejidos corporales, y esto va a depender de la forma química, el período transcurrido durante su consumo y la cantidad de selenio proporcionado en la dieta (Pond *et al.*, 1995). El beneficio de la acumulación de selenio en el tejido muscular es aumentar la disponibilidad del selenio para el consumo humano a través de la carne ovina (Taylor, 2005).

Bajo el conocimiento de que en México la mayor producción de carne en canal de ovino se presenta en los estados de México, Hidalgo y Puebla (SIAP, 2014), zona del país con mayor deficiencia de selenio en suelos y en ovinos, el objetivo de esta investigación fue determinar los niveles de proteínas séricas, de selenio en suero y en carne de ovinos suplementados con selenio en el alimento.

5.4 Materiales y métodos

Dieta base y tratamientos: se usó selenito de sodio (Na_2SeO_3) y levadura enriquecida con selenio (Sel-plex®) en tres dosis (0.3, 0.6 y 0.9 mg kg^{-1}) en la dieta. Los tratamientos fueron siete como resultado de la combinación de las dos fuentes y las tres proporciones de selenio, más un tratamiento testigo sin selenio. La composición de la dieta base se muestra en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Ingredientes y composición nutricional de la dieta base de los corderos.

Composición	Porcentaje de inclusión (%)
Maíz rolado	30.0
Maíz molido	29.0
Rastrojo de maíz	14.0
Cascarilla de soya	8.0
Pasta de soya	6.0
Melaza	5.0
Gluten de maíz	4.4
Mezcla mineral ²	1.5
Carbonato de calcio	1.0
Urea	0.5
Sal común	0.5
Grasa de sobrepaso	0.1
<i>Nutrientes</i>	
MS, %	87.0
EM, Mcal/kg	2.8
PC, %	16
PCNDR, %	6
FC, %	10
E.E., %	3.3
Cenizas, %	5.8
Vit. A, UI/kg	1.5
Vit. E, UI/kg	16.7
Se, mg/kg^{-1} MS	0.1

²Mezcla mineral: Ca, 24%; Cl, 12%; Na, 8%; P, 3%; Mg, 2%; S, 0.5%; K, 0.5%; Zn, 5000 mg kg^{-1} ; Mn, 4000 mg kg^{-1} ; Fe, 2000 mg kg^{-1} ; I, 100 mg kg^{-1} ; Co, 60 mg kg^{-1} ; Cr, 5 mg kg^{-1} ; Vitamina A, 500000 UI kg^{-1} ; Vitamina D, 300000 UI kg^{-1} ; Vitamina E, 1000 UI kg^{-1} . MS: Materia seca; EM: Energía metabolizable; PC: Proteína cruda; PCNDR: Proteína cruda no degradable en rumen; FC: Fibra cruda; E.E: Extracto etéreo.

Manejo de ovinos: se usaron 39 corderos Pelibuey-Canelo (24 hembras y 12 machos, para suplementar los tratamientos con selenio y dos hembras y un macho para el tratamiento testigo sin selenio) recién destetados, con un peso promedio de 23 ± 1.1 kg, procedentes del Rancho El Gargaleote, Tamuín, San Luis Potosí. Los corderos fueron desparasitados (Ivermectina; 1 ml/50 kg PV) y vacunados (bacterina 8 vías; 2.5 ml por cordero). Los corderos se alojaron en corraletas individuales y se les asignó al azar una de las siete dietas experimentales, las cuales se ofrecieron a libre acceso dos veces al día: el 60% del consumo diario ofrecido a las 7:00 h y el resto, el 40% a las 16:00 h. La adaptación a la dieta fue de 15 días y el experimento tuvo una duración de 60 días. El diseño experimental que se utilizó fue de bloques completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue de dos corderos por corraleta para los tratamientos con selenio y de un cordero para el tratamiento testigo sin selenio.

Muestreo de sangre y variables analizadas: a los corderos se les realizó tres muestreos de sangre en el tiempo durante el periodo experimental, a los 15 días (final del periodo de adaptación e inicio del tratamiento), al día 45 (mitad del período con el tratamiento) y al día 75 (final del tratamiento). Las muestras de sangre fueron obtenidas mediante la venopunción de la yugular con la ayuda de tubos con vacío y agujas "vacutainer" y centrifugadas a 2500 rpm durante 15 minutos, para la obtención de suero, el cual fue almacenado a -20°C hasta su procesamiento en laboratorio para la determinación de los niveles de proteínas séricas (albúmina, alfa globulina, beta globulina, gamma globulina) y selenio en suero. Las proteínas séricas se determinaron en el Departamento de Inmunología, de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNAM. El nivel de selenio en suero, se cuantificó mediante un Fluorómetro (*Perkin Elmer modelo LS30*), siguiendo el procedimiento descrito por Tamari *et al.* (1986).

Toma de muestras de carne y cuantificación de selenio: al final del periodo experimental, se seleccionaron al azar cuatro corderos de los tratamientos con selenio y los tres corderos del tratamiento testigo, los cuales se sacrificaron de

forma similar a la llevada a cabo por los barbacoyeros en la zona de estudio y de cada canal se tomó una muestra de carne del músculo *Longissimus dorsi*, pierna y espaldilla. Estas muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno y llevadas al laboratorio de Nutrición de Rumiantes de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se conservaron en refrigeración a -20 °C hasta su uso para la cuantificación de selenio. La acumulación de selenio en carne, se cuantificó mediante un Fluorómetro (*Perkin Elmer modelo LS30*), siguiendo el procedimiento descrito por Tamari *et al.* (1986).

Análisis: las variables de las proteínas séricas y la acumulación de selenio en carne se analizaron con el modelo $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$, y para el nivel de selenio en suero fue $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \beta (X_{ij} - \bar{X}_{..}) + E_{ij}$. Dónde: Y_{ij} = valores de las variables respuestas en los corderos, con el i -ésimo tratamiento y en el j -ésimo bloque (género); T_i = efecto de i -ésimo tratamiento; B_j = efecto de bloque (género); β = coeficiente de regresión; X_{ij} = covariable (nivel de selenio a la recepción) y E_{ij} = error aleatorio. Las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante el procedimiento de Tukey con $\alpha = 0.05$. Se realizó un análisis a través del tiempo (15, 45 y 75) para las variables de proteínas séricas y el nivel de selenio en suero.

5.5 Resultados y discusión

Efecto del día de muestreo. En el Cuadro 16 se presenta las medias de los niveles de selenio en suero (mg L^{-1}) y de proteínas séricas (mg mL^{-1}) de los corderos, en tres tiempos de muestreo durante la fase experimental. Se aprecia que el nivel de selenio en suero incrementó de acuerdo con el día de muestreo ($P < 0.05$), aumentando 0.04 mg L^{-1} al final de la fase experimental. En cuanto a proteínas séricas, el día de muestreo afectó únicamente los niveles de albúmina y gammaglobulina ($P < 0.05$).

Cuadro 16. Medias de los niveles de selenio en suero y los niveles de proteínas séricas de los corderos, en tres tiempos de muestreo durante la fase experimental.

Días de muestreo	Selenio en suero, mg L ⁻¹	Proteínas séricas, mg mL ⁻¹			
		Albúmina	Alfa	Beta	Gamma
15 (inicio)	0.067 ^b	46.35 ^b	13.13	12.40	25.95 ^a
45 (mitad)	0.097 ^a	49.86 ^a	11.77	15.26	21.56 ^b
75 (final)	0.102 ^a	49.46 ^{ab}	13.28	15.59	23.71 ^{ab}
E.E.M.	0.002	1.05	0.79	1.41	0.89

Medias sin una letra en común, dentro de columna, son diferentes (P<0.05); E.E.M: Error estándar de la media; Alfa: alfa globulina; Beta: beta globulina; Gamma: gamma globulina.

Efecto de la inclusión de selenio. En el Cuadro 17 se presentan los niveles de selenio en suero (mg L⁻¹) y las concentraciones de selenio en carne (µg Se/100 g) de corderos suplementados con dos fuentes y tres concentraciones de selenio. Los niveles de selenio en suero y las concentraciones de selenio en carne únicamente para la región del *Longissimus dorsi*, fueron afectados por la suplementación (P<0.05), incrementando los niveles y concentraciones de selenio al suplementar este mineral sin importar la fuente.

Cuadro 17. Efecto de los tratamientos con selenio en los niveles de selenio en suero (mg L⁻¹) y en carne (µg Se/100 g) de los corderos. Medias ± error estándar.

Tratamientos		Se en suero, mg L ⁻¹	Se en Carne, µg Se/100 g		
Selenio	mg kg ⁻¹		Pierna	<i>Longissimus dorsi</i>	Espaldilla
Inorgánico	0.3	0.07 ^{bc} ±0.003	15.00±4.86	17.30 ^{ab} ±2.86	14.37±4.85
Inorgánico	0.6	0.08 ^{abc} ±0.003	21.02±4.77	20.50 ^{ab} ±2.80	15.32±4.75
Inorgánico	0.9	0.09 ^{ab} ±0.003	22.80±4.77	22.72 ^a ±2.80	19.70±4.75
Orgánico	0.3	0.08 ^{abc} ±0.003	24.57±4.86	20.22 ^{ab} ±2.86	17.62±4.85
Orgánico	0.6	0.09 ^a ±0.003	29.82±4.77	23.82 ^a ±2.80	23.72±4.75
Orgánico	0.9	0.10 ^a ±0.003	31.32±4.77	27.35 ^a ±2.80	24.05±4.75
Testigo	0.1	0.07 ^c ±0.004	10.30±5.54	7.90 ^b ±3.25	9.70±5.52

^{abc} Medias sin una letra en común, dentro de columnas, son diferentes (P<0.05).

En el Cuadro 18 se presentan los niveles de las proteínas séricas de corderos, donde se aprecia que la suplementación con dos fuentes y tres concentraciones de selenio afectó únicamente los niveles de albúmina y alfa globulinas ($P < 0.05$). Encontrándose los mayores niveles de albúmina cuando se suplementó con selenio inorgánico a dosis de 0.6 y 0.9 mg Se $\text{kg}^{-1} \text{MS}^{-1}$ y para 0.3 mg Se $\text{kg}^{-1} \text{MS}^{-1}$ con selenio orgánico; sin embargo este último suplemento presentó el menor nivel de alfa globulina.

Cuadro 18. Efecto de los tratamientos con selenio en los niveles de proteínas séricas (mg mL^{-1}) de los corderos. Medias $\pm$ error estándar.

Tratamiento		Proteínas séricas, mg mL^{-1}			
Selenio	mg kg^{-1}	Album	Alfa	Beta	Gamma
IO	0.3	42.73 ^b ± 1.52	14.44 ^{ab} ± 1.15	14.98 ± 2.05	25.24 ± 1.30
IO	0.6	50.72 ^a ± 1.51	12.00 ^{ab} ± 1.14	14.34 ± 2.03	21.44 ± 1.28
IO	0.9	49.91 ^a ± 1.51	12.51 ^{ab} ± 1.14	11.65 ± 2.03	24.38 ± 1.28
OR	0.3	52.09 ^a ± 1.51	9.62 ^b ± 1.14	13.61 ± 2.03	24.12 ± 1.29
OR	0.6	49.13 ^{ab} ± 1.51	13.44 ^{ab} ± 1.14	13.57 ± 2.04	23.29 ± 1.29
OR	0.9	48.09 ^{ab} ± 1.51	13.13 ^{ab} ± 1.14	18.83 ± 2.04	23.65 ± 1.29
Testigo	0.1	45.91 ^{ab} ± 2.54	15.16 ^a ± 1.92	13.45 ± 3.42	24.40 ± 2.16

IO: Selenio Inorgánico, OR: Selenio Orgánico. Album: Albúmina, Alfa: Alfa globulina, Beta: Beta globulina, Gamma: Gammaglobulina.

La suplementación de selenio se vio reflejada en el aumento del nivel de selenio en suero y de albúmina después de 30 días iniciada la suplementación; sin embargo, el nivel de gammaglobulina disminuyó a este tiempo, pero volvió a aumentar 30 días después, sin alcanzar el nivel inicial. Estas respuestas indican que la diferencia en el nivel de selenio en suero y de las proteínas séricas depende generalmente del momento de muestreo, aumentando a medida que aumenta el tiempo.

El efecto de incremento del selenio que se observó en suero (0.03 mg L^{-1}) después de 30 días de suplementación, es un efecto similar a lo encontrado por Cristaldi *et al.* (2005) al suplementar a ovinos Rambouillet con selenito de sodio a dosis de 0.2, 2, 4, 6, 8 y $10 \text{ mg Se kg}^{-1} \text{ MS}$. De la misma manera, Davis *et al.* (2008) reportan que los niveles de selenio en suero aumentaron linealmente en las semanas 12, 24, 48 y 60. Esta tendencia de aumento del selenio en suero también se observó en cerdos, al ser suplementados con selenio inorgánico y orgánico a dosis de 5, 10, 15 y $20 \text{ mg Se kg}^{-1} \text{ MS}$ (Kim y Mahan, 2001).

Al final del experimento (60 días iniciada la suplementación) el nivel de selenio en suero aumentó muy poco con respecto del nivel medido a mitad del experimento (30 días iniciada la suplementación). En muchos ensayos de suplementación de selenio, se toma una muestra de suero pre-experimental y la segunda colección tiene lugar sólo después de un intervalo de dos semanas o más (Van Ryssen *et al.*, 2013), en los cuales se aprecia que los niveles de selenio en suero, han alcanzado un estado estacionario al día 20 (Van Ryssen *et al.*, 1989), han alcanzado su punto máximo a las cuatro semanas (Nicholson *et al.*, 1991; Hartmann y Van Ryssen, 1997), en 21 días (Van Ryssen *et al.*, 1999) o dentro de los 14 días (Taylor, 2005).

La suplementación de selenio afectó los niveles de selenio en suero, encontrándose las mayores niveles cuando se suplementó con dosis de 0.6 y $0.9 \text{ mg Se kg}^{-1} \text{ MS}$ de selenio orgánico. Los valores séricos de selenio, a excepción del tratamiento testigo sin selenio y el tratamiento con selenito de sodio a dosis de $0.3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, estuvieron dentro de los niveles recomendados ($0.08\text{-}0.5 \text{ mg L}^{-1}$) como adecuados según Puls (1988), y estos valores no difirieron entre estos grupos de tratamientos.

Los niveles séricos reportados por Davis *et al.* (2008) están por arriba a las encontradas en este estudio, ya que utilizaron dosis ($0.2, 20, 30$ y $40 \text{ mg Se kg}^{-1} \text{ MS}$) por arriba de las que se utilizó en este trabajo, los niveles en suero fueron de 0.19, 0.90, 1.06 y 1.31 mg L^{-1} para selenito de sodio y 0.40, 2.52, 2.80, 1.96 mg L^{-1} para selenio orgánico. Estos valores muestran que al suplementar con

selenio orgánico los niveles de selenio en suero aumentaron más del doble de los niveles encontrados cuando se suplementó con selenito de sodio al mismo nivel, por lo cual difiere con lo observado en el presente estudio.

Van Ryssen *et al.* (2013) comentaron que los niveles máximos de selenio en suero se alcanzaron a los cuatro días de haber iniciado la suplementación y se mantuvo a un nivel relativamente constante durante 90 días, cuando se suplementó con selenito de sodio a dosis de 2.5 y 4 mg Se kg⁻¹ MS a ovinos marginalmente deficientes. Cristaldi *et al.* (2005) afirmó que los niveles de selenio en el suero generalmente reflejan el nivel de selenio en la dieta. Al menos después de cuatro días iniciada la suplementación, se puede decir que el nivel de selenio en suero sería una medida aceptable de la predicción del status de selenio en el ovinos (Van Ryssen *et al.*, 2013).

La suplementación de selenio afectó las concentraciones de selenio únicamente en el *Longissimus dorsi*, encontrándose las mayores concentraciones cuando se suplementó con dosis de 0.6 y 0.9 mg Se kg⁻¹ MS de selenio orgánico y también con selenio inorgánico pero únicamente con la dosis más alta. Esto es consistente con Ehlig *et al.* (1967), Van Ryssen *et al.* (1989) y Quin *et al.* (2007), quienes informan de una mayor incorporación de selenio en el músculo esquelético con fuentes orgánicas en comparación con las fuentes inorgánicas.

Otro resultado similar a lo obtenido en este estudio es la de Vignola *et al.* (2009), donde señalan que independientemente de la fuente de selenio, la suplementación con este mineral aumentó significativamente la concentración de selenio en *Longissimus dorsi* con respecto al tratamiento sin selenio. Además, el contenido de selenio mejoró notablemente a medida que la dosis de selenio aumentó.

Un efecto de la fuente de selenio también fue evidente, con una mayor concentración de selenio en *Longissimus dorsi* de los corderos al recibir Se-levadura en comparación con los que recibieron una dosis comparable de selenito de sodio. Las concentraciones de selenio en el *Longissimus dorsi* fue de

0.35 mg kg⁻¹ MS para el tratamiento sin selenio, 0.43 mg kg⁻¹ MS para el tratamiento de selenito de sodio a dosis de 0.3 mg kg⁻¹ MS, 0.66 mg kg⁻¹ MS para el tratamiento de Se-levadura a dosis de 0.3 mg kg⁻¹ MS y 0.84 mg kg⁻¹ MS para el tratamiento de Se-levadura a dosis de 0.45 mg kg⁻¹ MS (Vignola *et al.*, 2009).

Las fuentes orgánicas de selenio suministran el elemento a moléculas que contienen selenio, pero selenometionina también se deposita en proteínas corporales mediante la sustitución de metionina en las moléculas de proteína. En consecuencia, la concentración de selenio en los tejidos y fluidos corporales es mayor cuando se suplementa selenio en forma orgánica en comparación con la forma inorgánica (Beilstein y Whanger, 1986; Van Ryssen *et al.*, 1989).

Daun y Akesson (2004) compararon el contenido de selenio en dos tipos de músculos de cinco especies diferentes (pollo, pato, pavo, avestruz y cordero) y muestran en corderos que el contenido de selenio fue significativamente mayor en los músculos oxidativos (*Psoas mayor*) que en el músculo glucolítica (*L. dorsi*). Está claro que hay una respuesta en la acumulación de selenio a la suplementación de este mineral en la dieta, pero esta respuesta es dependiente del tejido y puede variar según las especies, los niveles de suplementación y la fuente de selenio (Vignola *et al.*, 2009).

Juniper *et al.* (2009) al suplementar con selenio a corderos por 112 días, reportan mayor concentración de selenio en *Longissimus thoracis* y *Psoas mayor*, cuando los corderos recibieron la suplementación de Se-levadura en comparación con selenito de sodio. Los valores reportados de la concentración de selenio en mg kg⁻¹ MS fueron de 0.61, 0.71, 0.80 en *Psoas mayor* y 0.59, 0.67, 0.78 en *L. thoracis* cuando se suplemento con Se-levadura a dosis de 0.11, 0.21 y 0.31 mg kg⁻¹ MS, respectivamente; con la suplementación de selenito de sodio a dosis de 0.11 mg kg⁻¹ MS, en *Psoas mayor* se obtuvo una concentración de 0.48 mg kg⁻¹ MS y en *L. thoracis* 0.47 mg kg⁻¹ MS.

Taylor (2005), al estudiar la influencia de la supranutricional del selenio ligado orgánicamente, en la acumulación de selenio en el músculo de corderos, informó

un aumento lineal en el contenido de selenio en músculo esquelético cuando se alimentaron con alta cantidad de selenio del grano de trigo ($2.9 \mu\text{g}$ de Se g^{-1} MS) y supone que no se logró un estado de equilibrio aparente al día 56 del experimento, lo que indica una mayor capacidad del músculo para acumular selenio más allá de este tiempo.

Hintze *et al.* (2002) y Lawler *et al.* (2004) informaron que una porción de 100 g de músculo de res, que fueron alimentados con alta cantidad de selenio del grano de trigo, proporciona más del 200% del requerimiento diario recomendado de selenio para los seres humanos. Taylor (2005) reporta que el contenido de selenio del músculo de corderos alimentados con selenio supranutricional, fue de siete veces la concentración de selenio de lomo de cordero sin cocer que aparece en la Base de Datos Nacional de Nutrientes para Referencia Estándar (USDA, 2014). Al ajustar el contenido de humedad, una porción de 100 g proporcionaría 196 y 250% del requerimiento diario recomendado de selenio sugerida para los seres humanos, del sexo masculino y femenino, respectivamente (RDA, 1989). La misma porción de 100 g de los carneros sacrificados después de 28 días de la alimentación de selenio supranutricional proporcionaría un poco más que el 100% de las necesidades (Taylor, 2005). Los valores encontrados en el presente estudio están por debajo de estos valores, por lo cual únicamente proporcionaría alrededor del 50% de las necesidades sugerida para los seres humanos ($55 \mu\text{g}$ dia^{-1} para adultos; Food and Nutrition Board & I. de M., 2000), cuando se suplementa a los corderos con la dosis más alta de selenio orgánico.

El selenio es un oligoelemento esencial en la nutrición humana, es el componente de selenoproteínas que tienen funciones antioxidantes en la enfermedad cardiovascular y la prevención del cáncer (Rayman, 2000), por lo cual el selenio acumulado en la carne, aumentara su disponibilidad para los seres humanos.

La suplementación de selenio afectó el nivel de albúmina y alfa globulina únicamente, pero con valores estadísticamente iguales entre fuentes y dosis. Los niveles de proteínas plasmáticas totales y fraccionales (albúminas, alfa globulinas, beta globulinas, gamma globulinas) representan un método de

diagnóstico que refleja situaciones patológicas en múltiples sistemas orgánicos como lo son: deficiencias proteicas severas, malnutrición, malabsorción, enfermedades hepáticas y renales entre otras (Larson *et al.* 1980).

Las globulinas se clasifican en: alfa globulinas, beta globulinas y gammaglobulinas, sintetizadas en su mayoría a nivel hepático con excepción de las gammaglobulinas que son sintetizadas por las células plasmáticas y que están constituidas por varias fracciones (IgA, IgG, IgM, IgE y IgD) que son las responsables de la respuesta inmune (Ganong, 2000).

Domínguez-Vara *et al.* (2009) no encontraron diferencias en el nivel de IgG cuando evaluaron selenio levadura a dosis de 0.3 mg kg⁻¹ MS en corderos Rambouillet, tampoco encontraron efectos de tiempo al tomar las muestras en la segunda, séptima y onceava semanas del experimento. Al suplementar a cerdos con selenio a dosis de 0.3 mg kg⁻¹ MS, las inmunoglobulinas séricas no se afectaron (Gelderman y Claper, 2013).

Por otro lado, Larsen (1993) reportó que cuando hay una deficiencia de selenio, existe una disminución de inmunoglobulinas G y M en el plasma sanguíneo. Turner y Finch (1990) y Hidiroglou *et al.* (1992), informaron que la formación de anticuerpos fue satisfactoria, incluso a un bajo contenido de selenio en la dieta, si se aplica una cantidad suficiente de vitamina E. Pavlata *et al.* (2004) concluyeron que la aplicación paralela de selenio y vitamina E para novillas lecheras gestantes aumentó el nivel de selenio, vitamina E y las inmunoglobulinas en calostro.

Se ha administrado selenio en diferentes formas como inmunoestimulante y se han observado efectos en la capacidad de respuesta inmune de los animales y en la calidad del calostro producido (Jendryczko, 1994). Las inmunoglobulinas G en el suero de la sangre de los corderos aumentan significativamente después de la ingesta del calostro. Según Barta (1993), el nivel de IgG en el suero de la sangre de corderos en el día de nacimiento es de 0.04 g L⁻¹, aumentando abruptamente después de la ingesta del calostro, llegando a presentar un nivel

de 19.56 g L⁻¹ al segundo día de vida, pero vuelve a disminuir al día 16 (8.37 g L⁻¹). Esta disminución continúa hasta el día 60, presentando un valor mínimo de 5.52 g L⁻¹. En el resto del período hasta el día 180 después del nacimiento, hay un aumento de 11.24 g L⁻¹, por lo cual no alcanza el nivel de los individuos adultos todavía (20.95 a 30.52 g L⁻¹).

La deficiencia de selenio se refleja en la capacidad de la inmunidad de los animales (Turner y Finch, 1990). El aporte adecuado de selenio, se ha demostrado relevante para asegurar la resistencia a la enfermedad y la eliminación de patógenos, el elemento se asocia a la integridad de diferentes mecanismos y células participantes en la respuesta inmune. La deficiencia en selenio afecta el nivel de IgG y la función de las células T, factores que determinan mayor prevalencia y severidad de las enfermedades usualmente presentes en las poblaciones animales (John *et al.*, 2003).

5.6 Conclusión

La inclusión de selenio a dietas para la engorda intensiva de corderos promueve el aumento de selenio en suero, y afecta el nivel de las proteínas séricas del cordero. Además incrementa el nivel de selenio en carne, la cual al consumirla se aportará selenio a la dieta de los consumidores.

Es conveniente investigar dosis poco mayores a las usadas en esta investigación para llegar a precisar la dosis necesaria para cubrir los requerimientos de selenio en el humano mediante el consumo de la carne de ovino.

5.7 Literatura citada

- Barta, O. 1993. Radial immunodiffusion quantitative determination of immunoglobulins and C3. Monographs in Animal Immunology 2: 3–14.
- Beilstein, M. A., and P. D. Whanger. 1986. Chemical forms of selenium in rat tissues after administration of selenite or selenomethionine. Journal of Nutrition 116: 1711–1719.
- Cristaldi, L. A., L. R. McDowell, C. D. Buergelt, P. A. Davis, N. S. Wilkenson, and F. G. Martin. 2005. Tolerance of inorganic selenium in wether sheep. Small Ruminant Research 56: 205–213.

- Daun, C., and B. Akesson. 2004. Comparison of glutathione peroxidase activity, and of total and soluble selenium content in two muscles from chicken, turkey, duck, ostrich and lamb. *Food Chemistry* 85: 295–303.
- Davis, P. A., L. R. McDowell, N. S. Wilkinson, C. D. Buergelt, R. Van Alstyne, R. N. Weldon, T. T. Marshall, and E. Y. Matsuda-Fugisaki. 2008. Comparative effects of various dietary levels of Se as sodium selenite or Se yeast on blood, wool, and tissue Se concentrations of wether sheep. *Small Ruminant Research* 74: 149–158.
- Domínguez-Vara, I. A., S. S. González-Muñoz, J. M. Pinos-Rodríguez, J. L. Bórquez-Gastelum, R. Bárcena-Gama, G. Mendoza-Martínez, L. E. Zapata, and L. L. Landois-Palencia. 2009. Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. *Animal Feed Science and Technology* 152: 42–49.
- Ehlig, C. F., D. E. Hogue, W. H. Allaway, and D. J. Hamm. 1967. Fate of selenium from selenite or selenomethionine with or without vitamin E in lambs. *Journal of Nutrition* 92: 121–126.
- Food and Nutrition Board, I. of M. 2000. Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. The National Academies Press. Washington, D.C. 529 p.
- Ganong W. 2000. Fisiología Médica. 16^a Ed. Manual Moderno. México. 620 p.
- Gelderman, A., and J. Clapper. 2013. Effects of inorganic or organic selenium on immunoglobulins in swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4: 47.
- Gerloff, B. J., 1992. Effect of selenium supplementation on dairy cows. *Journal of Animal Science* 70: 3934–3940.
- Hartmann, F., and J. B. J Van Ryssen. 1997. Metabolism of selenium and copper in sheep with and without sodium bicarbonate supplementation. *Journal of Agricultural Science Cambridge* 128: 357–364.
- Hefnawy, A. E. G., and J. L. Tórtora-Perez. 2010. The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research* 89: 185–192.
- Hidiroglou M., T. R Barta, L. Laflamme, and F. Markham. 1992. Possible role of vitamin E in immune response of calves. *International Journal for Vitamine and Nutrition Research* 62: 308–311.
- Hintze, K. J., G. P. Lardy, M. J. Marchello, and J. W. Finley. 2002. Selenium accumulation in beef: Effect of dietary selenium and geographical area of animal origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 3938–3942.
- Jendryczko, A. 1994. Modulatory properties of selenium in immune processes. *Wiadomosci Lekarskie* 47: 198–202.

- John, R. 2003. Selenium in the immune system. *Journal of Nutrition* 133: 1457-1459.
- Juniper, D. T., R. H. Phipps, E. Ramos-Morales, and G. Bertin. 2009. Effect of high dose selenium enriched yeast diets on the distribution of total selenium and selenium species within lamb tissues. *Livestock Science* 122: 63–67.
- Kim, Y. Y., and D. C. Mahan. 2001. Comparative effects of high dietary levels of organic and inorganic Se on Se toxicity of growing finishing pigs. *Journal of Animal Science* 79: 942–948.
- Larsen, H. J. 1993. Relation between selenium and immunity. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 11 Suppl: 105–109.
- Larson, L. L., H. S. Mabruck, and S. R. Lowry. 1980. Relationship between early postpartum blood composition and reproductive performance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 63: 283-289.
- Lawler, T. L., J. B. Taylor, J. W. Finley, and J. S. Caton. 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.
- Nicholson, J. E. G., J. G. Allen, and R. S. Bush. 1991. Comparisons of responses in whole blood and plasma selenium levels during selenium depletion and repletion of growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 71: 925–929.
- NRC (National Research Council). 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Natl. Acad. Press, Washington, DC. USA. 345 p.
- Pavlata L., J. Prasek, J. Filipek, and A. Pechova. 2004. Influence of parenteral administration of selenium and vitamin E during pregnancy on selected metabolite parameters and colostrum quality in dairy cows at parturition. *Veterinarni Medicina* 49: 149–155.
- Pond, W. G., D. C. Church, and K. R. Pond. 1995. Inorganic mineral elements. *In: Basic Animal Nutrition and Feeding* (4th Ed.). John Wiley and Sons. New York. pp: 167-224.
- Puls, R. 1988. *Mineral Levels in Animal Health. Diagnostic Data*. Published by Sherpa International. Clearbrook, British Columbia, Canada. 154 p.
- Quin, S., J. Gao, and K. Huang. 2007. Effects of different selenium sources on tissue selenium concentrations, blood GSH-Px activities and plasma interleukin levels in finishing lambs. *Biological Trace Element Research* 116: 91–102.
- Rayman, M. P. 2000. The importance of selenium to human health. *Lancet* 356: 233-241.

- RDA (Recommended Dietary Allowances). 1989. Trace elements. Natl. Acad. Press, Washington, DC. USA. 222 p.
- SAS. 2009. SAS/STAT User's guide (release 9.1) SAS Inst. Inc., Cary, N.C.
- Schwarz, K., and C. M. Foltz. 1957. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society* 79: 3292–3293.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/>. Consultado el 07 de septiembre de 2014.
- Tamari, Y., S. Ohmori, and K. Hiraki. 1986. Fluorometry of nanogram amounts of selenium in biological samples. *Clinical Chemistry* 32: 1464–1467.
- Taylor, J. B. 2005. Time-dependent influence of supranutritional organically bound selenium on selenium accumulation in growing wether lambs. *Journal of Animal Science* 83: 1186–1193.
- Turner R. J., and J. M. Finch. 1990. Immunological malfunctions associated with low selenium – vitamin E diets in lambs. *Journal of Comparative Pathology* 126: 2200–2204.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2014. Agricultural Research Service: National Nutrient Database for Standard Reference, Release 17. http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. Consultado el 20 de octubre de 2014.
- Van Ryssen, J. B. J., R. J. Coertze, and J. F. de Villiers. 1999. Supplementation of selenium to sheep grazing kikuyu or ryegrass: II. Effect on selenium concentration in the grass and body tissues. *South African Journal of Animal Science* 29: 145–153.
- Van Ryssen, J. B. J., J. T. Deagen, M. A. Beilstein, and P. D. Whanger. 1989. Comparative metabolism of organic and inorganic selenium in sheep. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 37: 1358–1363.
- Van Ryssen, J. B. J., R. J. Coertze, and M. F. Smith. 2013. Time-dependent effect of selenium supplementation on the relationship between selenium concentrations in whole blood and plasma of sheep. *Small Ruminant Research* 112: 85–90.
- Vignola, G., L. Lambertini, G. Mazzone, M. Giammarco, M. Tassinari, G. Martelli, and G. Bertin. 2009. Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science* 81: 678–685.