

DISPONIBILIDAD DE SELENIO COMPLEMENTADO CON SELENITO DE SODIO Y SELENOMETIONINA EN CORDEROS

Selenium Availability Complemented With Sodium Selenite and Selenomethionine in Lambs

Rosy Gabriela Cruz Monterrosa ¹, Efrén Ramírez Bribiesca ^{1*}, Mario Antonio Cobos Peralta ¹, Alma Luisa Revilla Vázquez ², María Magdalena Crosby Galván ¹ y José Luis Cordero Mora ¹

¹ Enlace Ganadería, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carr. México Texoco, CP. 56230. México.

² FES-C, Universidad Nacional Autónoma de México. E-mail: efrenrb@colpos.mx. Tel -Fax 0052 58045979

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del complemento de selenio (Se) sobre la función digestiva de corderos. Se utilizaron veinte corderos ($26 \pm 2,4$ kg) de 6 meses de edad, canulados en rumen y duodeno y alojados en jaulas metabólicas. Antes de la administración de fuentes de Se, todos los corderos fueron utilizados en el grupo sin complemento de Se: 0,12 ppm de Se. Posteriormente, los corderos se dividieron en dos grupos para administrar: G1) Con complementación de Na_2SO_3 y G2) Con complementación de selenometionina. Ambos grupos proporcionaron 0,64 ppm de selenio elemental. El análisis estadístico se realizó con la prueba de covarianza y comparación de medias con la prueba de diferencia mínima significativa y T-student. Las muestras de líquido ruminal se usaron para determinar el pH, Se en bacteria, población de bacterias y protozoarios, concentración de ácidos grasos volátiles y concentración de Se. Las muestras de líquido duodenal y fecal fueron usadas para determinar la digestibilidad pregástrica, postgástrica y total, con la inclusión de 0,4% de óxido crómico como marcador de la digesta. Los resultados de las pruebas demostraron el efecto de Se de la dieta sobre la tasa de pasaje en el intestino delgado. El complemento de Se en la dieta con selenito de sodio y selenometionina mejoró la tasa de pasaje del Se al intestino delgado (65,09 vs. 218 μgSe). No hubo diferencias en la solubilidad de Se, proporción molar de ácido acético, propiónico y butírico. La concentración de bacterias en el líquido ruminal incrementó con ambas fuentes de complementos de Se (36,8 y 54%). En conclusión, no hubo diferencias en la absorción y digestibilidad con selenito de sodio o selenometionina incluida en la dieta de corderos.

Palabras clave: Selenio, digestibilidad, complementación, ovinos.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of selenium (Se) supplement on the digestive function of lambs. Twenty lambs (26 ± 2.4 kg) 6 months of age were housed in metabolic cages and were cannulated in rumen and duodenum. They were used in this experiment and all of them were included in general treatment without supplement of Se: 0.12 ppm of Se (G1). Subsequently, all lambs were divided following 2 treatments: G2) with supplementation of Na_2SO_3 , and G3 supplemented with selenomethionin. Both groups provided Se at 0.64ppm. Comparisons among groups were analyzed by covariance and means treatments were carried out with the significant minimum difference test and T-student. Samples of ruminal liquid were used to determine pH, Se in bacteria, bacteria and protozoa population, volatile fatty acid concentration Se. Duodenal and fecal liquid samples were used to determine the pre-gastric, post-gastric and total digestion rates, with the inclusion of 0.4% chromic oxide as a digesta marker. The results indicated a Se effect of the diet on the passage rate in the small intestine. Se supplement in the diet with sodium selenite and selenomethionin improved the passage of Se to the small intestine (65.09 vs. 218 μgSe). There were not differences on the solubility of Se, molar proportion of acetic, propionic and butyric acid. Bacteria concentration in ruminal fluid increased with both sources of Se supplement (36.8 y 54%). In conclusion, there were no differences in absorption and Se digestibility with sodium selenite or selenomethionin included in the diet of lambs.

Key words: Selenium, digestibility, complementation, lambs.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el interés por el estudio de los microelementos y en particular por el selenio (Se) se ha intensificado debido a su gran importancia en la nutrición animal. En la

producción ovina (*Ovis aries*) la deficiencia de este mineral causa problemas graves, especialmente en el desarrollo de los corderos y en la etapa de gestación de las ovejas [1]. Las formas mediante las cuales se puede corregir la deficiencia de Se son: Sales minerales en el alimento, aplicación de formulaciones parenterales, dosificación oral de Se sódico y aplicación de bolos o comprimidos ruminales [8, 24]. Estas actividades complementarias se realizan principalmente en los suelos selenodeficientes con concentraciones menores de 0,1 ppm, siendo regiones endémicas de distrofia muscular en pequeños rumiantes [23] y en consecuencia, pérdida de la actividad de la selenoproteína glutatión peroxidasa [33] y supresión de la inmunidad [5].

La fuente de Se comúnmente usada en la alimentación de rumiantes es el selenito sódico (Na_2SeO_3), pero su uso y manipulación se ven limitados por el riesgo de toxicidad cuando no se balancea adecuadamente o no se mezcla perfectamente en las sales o el alimento. Otras fuentes de Se son las de tipo orgánico (metionato de Se y levaduras enriquecidas con Se) [17]. El Se es uno de los elementos más tóxicos para todos los animales, tiene un margen de tolerancia muy reducido entre su requerimiento y toxicidad. Es sabido que en la dieta, el requerimiento mínimo y concentración máxima tolerable fluctúa entre 0,05 y 5 ppm [20], lo que hace que el margen de seguridad para suplementar sea reducido. Por tal motivo es importante contar con productos de suplementación de Se que proporcionen un alto grado de seguridad y balancear las dietas, proporcionando dosis adecuadas de Se, para evitar su deficiencia pero sin descuidar el riesgo de generar toxicidad.

El Se orgánico se puede administrar con cultivos de levadura, comúnmente los productos comerciales contienen selenocisteína, se reporta mejor disponibilidad del mineral en ésta forma [17]; la selenometionina es la forma predominante de Se encontrada en los ingredientes de los alimentos. Como ya se mencionó, el selenito de sodio es la forma inorgánica de Se más tradicional como complemento, sin embargo, como no se encuentra naturalmente se cree que es menos efectivo en los procesos de disponibilidad y absorción [21]. Otras investigaciones han demostrado alta disponibilidad de absorción del selenito de sodio en el tracto digestivo de corderos [9, 15]. Con propósitos de investigación, una fuente pura de selenio, como la selenometionina, comparada con el selenito de sodio puede generar información muy confiable en los procesos fisiológicos. Por tales razones, el presente estudio pretendió comparar estas fuentes de Se en el rumen, en las tasas de digestibilidad del tracto digestivo y en las concentraciones en tejidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales

Se seleccionaron veinte corderos cruces de raza Pelibuey x Katadin x Dorper, de 6 meses de edad, con peso promedio de $26,0 \pm 2,4$ kg. Los animales se desparasitaron con

ivermectina (0,02 mL/kgPV vía subcutánea) y closantel (al 15%, 10,0mg/kgPV, vía oral). Se les aplicó el toxoide de *Clostridium perfringens* tipo D para prevenir la enterotoxemia (dosis única de 2,5 mL) y se adaptaron dentro de las jaulas metabólicas para facilitar el manejo y la toma de muestras. Las cánulas de rumen y duodeno se fabricaron con tubos de tygon® (Saint-Gobain, EUA) de 2 y 3 cm de diámetro. Las cirugías se realizaron en todos los corderos con un protocolo de manejo adecuado en los animales, para facilitar su bienestar y evitar el estrés; el tiempo de recuperación fue de 15 días y posteriormente se inició la fase experimental.

Consumo de alimento

Los corderos fueron alimentados con heno de avena (*Avena sativa*) y agua potable fresca a su llegada a la granja experimental. Durante el tiempo de recuperación de las cirugías, los animales se adaptaron a una dieta alta en grano (60%) y antes de iniciar la fase experimental se calculó el consumo del alimento en materia seca (MS) con base a 3,26 % en promedio de peso vivo corporal de los animales. La dieta base se formuló con los requerimientos recomendados por la National Research Council [20], los ingredientes usados (base 100%MS) fueron: Maíz (*Zea mays*) quebrado, 35; heno de avena (*Avena sativa*), 27; pasta de soya (*Glycine max*) 15; salvado de trigo (*Triticum spp*), 12,5; urea, 1; melaza (azúcares de *Saccharum officinarum*) 5; aceite vegetal, 2,5 y sales minerales sin selenio, 2. El contenido nutricional de la dieta fue: 18,1% de proteína, 0,9% de Ca, 0,45% de P, energía neta de mantenimiento y ganancia de 1,73 y 1,15 Mcal/kg, respectivamente, y un contenido de Se de 0,12 ppm. El alimento (766 gMS/d) se le suministró a los animales dos veces al día (7 y 19 h), 383 gMS por comida, considerando que no hubo rechazos, esta dieta fue usada como testigo y para la fase de la administración de las dos fuentes de Se.

La dosis de óxido de cromo se calculó al 0,4% como marcador no digestible, se dividió en 2 partes y se suministró con cada comida. El cálculo de MS de la dieta suministrada a los animales durante el experimento se realizó en cada periodo experimental, obteniendo varias submuestras, posteriormente éstas se mezclaron y se seleccionó una muestra del alimento.

Distribución de los tratamientos

Se evaluaron dos fuentes de Se: Selenio - L - Metionina, (Sigma referencia S3132, EUA: fórmula: $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2\text{Se}$) como fuente orgánica y selenito de sodio (fórmula molecular Na_2SeO_3 , con un contenido de 45% Se) como fuente inorgánica. La fase experimental se dividió en dos organizando los veinte corderos en una fase control y la segunda fase fue la administración del microelemento.

En la primera fase, los veinte corderos consumieron la dieta basal, grupo G1. En la segunda fase, los 20 animales se dividieron en dos grupos de 10 corderos cada uno, asignados aleatoriamente: El tratamiento con selenio inorgánico (G2)

consistió en dieta basal + selenito de sodio y el tratamiento con selenio orgánico (G3): dieta basal + selenometionina. El tiempo experimental en ambas fases fue de 10 días de adaptación y 5 días de muestreo.

La preparación de las soluciones de Se fue un día antes de empezar la etapa del experimento: Para el grupo G2, se mezclaron 280 mL de agua destilada + 61,6 µg de selenito de sodio (45% de Se). Para el grupo G3, se mezclaron 280 mL de agua destilada + 28 µg de selenometionina. Ambas fuentes se diluyeron en agua deionizada a una concentración de 0,1 mg de Se/mL. Las dosis diarias suministradas fueron de 0,4 mg/día, dividida en las 2 comidas. Estas cantidades aportaron en ambos tratamientos 0,52 ppmSe, más la suma de 0,12 ppm Se que aportaron los ingredientes del alimento, dieron un total de 0,64 ppm Se ingerido diariamente en los animales dosificados.

Colección de muestras

Contenido duodenal y fecal: La colección de muestra fecal y duodenal fue mediante un ciclo de recolección de 1,5 horas post alimentación durante 5 días de muestreo. Las horas se distribuyeron de la siguiente manera: día 1, 6:45 y 12:35; día 2, 9:05 y 2:55; día 3, 7:55 y 1:45; día 4, 11:25 y 5:15 y día 5, 10:15 y 4:05.

La toma de muestra del contenido duodenal fue hecha directamente de la cánula de duodeno con la adaptación de bolsas de 18 cm de largo x 10 cm de ancho, ajustadas con ligas en la cánula del duodeno para obtener el llenado y así tener el volumen de 200 mL por cada colección. Esta recolección de muestras tuvo una duración de 5 a 10 min, posteriormente cada una de las muestras de cada animal fueron mezcladas haciendo de las sub muestras, una sola muestra, ésta se depositó en un recipiente de plástico con capacidad de 1 L y se congeló a -20°C (Congelador Torrey® Mod. CHC108, México) hasta su procesamiento. Las muestras de contenido fecal se seleccionaban con el fin de no tomar muestras contaminadas con alimento, polvo, pelo del animal, etc., el tiempo de muestreo fue el mismo que se utilizó en la colección del líquido duodenal. Las submuestras por animal fueron depositadas en una bolsa de plástico y al término de cada muestreo se congelaron hasta su análisis.

Líquido ruminal: Se tomó 2 veces por cada fase de investigación, la recolección se hizo 3 horas después de alimentar a los corderos. El líquido ruminal se extrajo directamente de la cánula ruminal utilizando una bomba de vacío (Labecum® Mod FE-1373, México). Durante el muestreo se obtuvieron entre 100 y 120 mL de líquido ruminal por cada cordero. La muestra se depositó en un vaso de precipitado, se filtró con una malla de poro aproximado de 0,05 mm, con la finalidad de obtener muestras adecuadas para conteo de bacterias, protozoarios, pH y ácidos grasos volátiles (AGV). El sobrante de líquido ruminal filtrado se conservó en congelación, debidamente identificado y sellado, para su posterior determinación de Se.

Sangre: Durante las dos fases experimentales se realizaron 2 muestreos de sangre por ovino. La primera se realizó

antes de administrar el Se y los otros 2 muestreos, en la etapa de suministro de Se en los grupos G2 y G3. Las muestras de sangre se tomaron a los 5 y 14 días de cada tratamiento. Cada muestra fue de 5 mL de sangre, extraída mediante venopunción con ácido etilendiaminetetraacético (EDTA) para la conservación de la sangre, terminado cada muestreo se llevaron a congelación para su posterior análisis de determinación de Se.

Tejidos: Al término de los muestreos digestivos en los grupos G2 y G3, se retiró la administración del cromo y se continuó con la administración de las fuentes de Se. Posteriormente, los corderos se enviaron al matadero, se insensibilizaron en la parte frontal de la cabeza con una pistola de émbolo (Roser® Mod. 6882, España), se desangraron, diseccionaron y se obtuvieron muestras de tejidos, músculo esquelético, cardíaco, hepático y renal. Las muestras se conservaron a -20°C hasta la determinación de Se.

Análisis de laboratorio

Se realizó el conteo de bacterias y protozoarios [4], se determinó pH ruminal mediante un potenciómetro (Termo Orion® Mod. 320, EUA), concentración de AGV por cromatografía de gases (Hewlett-Packard Model 5890, EUA) [35], determinación de cromo [36], nitrógeno, fibra detergente neutro (FDN), purinas, aislamiento de masa bacteriana [37] y determinación de Se por absorción atómica (Perkin Elmer® Mod. 600, México) [13].

Cálculos

La digestibilidad se calculó con la siguiente fórmula:

Digestibilidad (%)

$$= \frac{\text{Nutriente consumido(g)} - \text{Flujo de nutriente (g)} \times 100}{\text{Nutriente consumido (g)}}$$

El flujo de nutrientes se calculó con la siguiente fórmula:

Flujo de nutriente g/d

$$= \frac{\text{Nutriente consumido en base seca (g d)} \times \text{Indicador (\%)} \text{ en alimento}}{\text{Indicador (\%)} \text{ e contenido intestinal o heces}}$$

La materia orgánica (MO) fermentada en el rumen fue calculada por el consumo de MO menos la diferencia entre la cantidad de MO total que llega al duodeno y la materia orgánica microbiana que también llega a duodeno. El nitrógeno del alimento que llega al intestino delgado fue considerado como el nitrógeno (N) total que llega al abomaso menos la cantidad de N amoniacal y nitrógeno microbiano (NM). Con las definiciones explicadas se determinó la eficiencia microbiana = g NM/kg MO fermentada.

La concentración de metano y dióxido de carbono se determinó mediante la ecuación de fermentación teórica propuesta por Wolin [32].

Análisis estadístico

Las variables analizadas de los corderos antes de la complementación de fuentes de Se, se compararon con los grupos complementados G2 y G3, a través de un análisis de covarianza (ANCOVA) y posteriormente se realizaron comparaciones de medias con la prueba de diferencia mínima significativa ($P < 0,05$). Las concentraciones de Se en tejidos de los grupos de corderos complementados con selenito de sodio y selenometionina se analizaron con la prueba de T-Student ($P < 0,05$) [29].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la TABLA I se presenta el consumo de los nutrientes proporcionados a los corderos usados en la prueba metabólica. Se observó aumento del flujo de Se al duodeno en am-

bos grupos suplementados ($P < 0,01$), éste fue tres veces mayor con respecto al grupo control. La excreción fecal de Se también fue mayor con la suplementación ($P < 0,01$). Sin embargo, no hubo diferencias en la digestibilidad total de Se, que fue de 66% en promedio en todos los tratamientos. Los resultados de digestibilidad y excreción de materia orgánica no mostraron diferencias durante las partes del tracto gastrointestinal analizado. Tampoco se observaron diferencias en la eficiencia microbiana ruminal (g NM/kg MO fermentada).

En un estudio realizado por Koenig y col. [16] se encontró una tendencia ($P = 0,062$) a incrementar el uso de Se en 27,3%, en los compartimientos pregástricos de corderos alimentados con dieta alta en concentrado. Por lo tanto, estos resultados generan la duda en la fisiología del Se en los compartimientos pregástricos; se sabe que los microorganismos ruminales tienen la capacidad de transformar el Se en formas solubles e insolubles [26]. El contenido de Se en los microorganismos ruminales ha sido extremadamente variable, va en el rango de 0,04 a 1,9 ppm [31], pudiendo ser mayor la concentración de Se en bacterias con suplemento de selenito que con selenometionina [14].

TABLA I
CONSUMO DE NUTRIMENTOS, DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN EN CORDEROS ANTES Y DESPUÉS DE AGREGAR DOS FUENTES DE SELENIO

	Sin suplemento de selenio	Selenito de sodio	Selenometionina	EEM
Peso corderos kg	26	26	26	
Consumo (g/día)				
Materia orgánica	724,86	725,09	725,09	0,04
Nitrógeno	16,05	15,02	15,78	0,03
FDN	176,46	175,71	164,1	0,02
Selenio (μg)	91,92	398,32	398,32	0,02
Flujo hacia duodeno (g/día)				
Materia orgánica	380,61	379,22	440,51	11,33
N microbiano	6,81	5,45	5,05	0,6
Selenio (μg)	65,09 ^a	201,29 ^b	235,16 ^b	0,08
Excreción fecal (g/día)				
Materia orgánica	233,42	249,03	244,92	0,04
Selenio (μg)	33,36 ^a	135,32 ^b	125,33 ^b	0,07
Digestión o absorción en rumen, % de consumo				
Materia Orgánica	47,49	47,69	39,24	1,0
Selenio	29,18 ^a	49,46 ^b	40,96 ^b	0,04
Digestión postruminal, % del flujo al duodeno				
Materia orgánica	37,21	32,49	43,77	1,34
Se	38,46	24,54	31,86	5,5
Digestión en tracto total, % de consumo				
Materia orgánica	67,79	65,65	66,22	1,34
Se	61,32	56,02	68,53	5,5

^{a,b}Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencia significativa ($P < 0,05$).

El Se contenido en la dieta basal y el suministrado como selenito o selenometionina pueden ser incorporados o transformados por los microorganismos del rumen, probablemente como Se de formas insolubles o selenoaminoácidos (selenocisteína y selenometionina). Serra y col. [25] mencionan formas insolubles de Se en el rumen, indicando que las necesidades de Se en los microorganismos se cubren con los niveles más bajos de Se en la dieta. Whanger y col. [31] demostraron la incorporación de selenometionina dentro de la microbiota del rumen; el Se también puede incorporarse a cisteína como selenocisteína o a formas insolubles reducidas conocidas como selenuros.

La digestión del Se en el tracto total fue de 63 a 68% del total de Se consumido. Los trabajos de Serra y col. [25] mencionan una digestibilidad de 67 a 73% con dietas que recibieron heno Timothy. Por otro lado, Koenig y col. [16] registraron absorciones de 41,8 y 52,8 en corderos Suffolk alimentados con dietas a base de forraje y concentrado, respectivamente. La absorción de Se depende de la forma química de este elemento [15] y de la composición de la dieta. Zanetti y Pettinati [34] también reportaron un incremento en la absorción y retención de Se en ovejas (*Ovis aries*) cuando el 70% fue aportado por el alimento y el resto con selenito de sodio, comparado con una fuente de Se que solo era aportado por el alimento. Por otro lado, Hernández y col. [9] observaron que un complemento de selenito de sodio tiende a incrementar la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana. En ovinos, la absorción y retención de selenometionina, como forma orgánica de Se es mejor que Se como selenito [22]. Koenig y col. [16] encontraron una mejor absorción y retención para sales de Se inorgánico. Alfaro y col. [3] informan que la absorción de selenito fue mejor que la absorción de Se orgánico. La concentración utilizada estuvo ligeramente por arriba del rango normal que recomienda los actuales requerimientos de NRC [20] pero no llegaron a concentraciones tóxicas [6].

La TABLA II presenta las variables medidas en el rumen. Estas incluyen concentraciones de pH, microorganismos, Se, producción de AGV y estimaciones de dióxido de carbono y metano. El pH en el rumen disminuyó en 2,9% ($P < 0,01$) cuando se complementó con selenito de sodio, con respecto al grupo control y al grupo suplementado con selenometionina, no presentó diferencia significativa con respecto al control. El grupo de corderos a los que se les administró selenometionina, incrementó el pH también en 2,9%, comparado con los corderos complementados con selenito de sodio.

Se presentaron diferencias ($P < 0,05$) en la concentración de las bacterias totales en rumen, después de complementar las fuentes de selenito y selenometionina. La concentración de bacterias incrementó en 36,8 y 54%, respectivamente.

La concentración molar de AGV y la producción de dióxido de carbono y metano no mostraron ninguna diferencia significativa, antes y después de los complementos de Se en corderos. Contrariamente, Naziroglu y col. [19] registran mayor concentración de ácido butírico (14,7%) si el Se se complementa como selenito de sodio (0,3 ppm en alimento). De igual forma, otros autores han informado que la producción de ácidos acético, propiónico, butírico y ácidos grasos totales se incrementan con la complementación de Se, vitamina E o Se/vitamina E. [19]. Serra y col. [26] informaron que la tasa de complementación de 0,2 ppm en la dieta no tuvo una influencia significativa en la producción de AGV [25].

Las concentraciones de Se en el líquido ruminal pueden ser de 0,3 a 0,6 ppm [25]. La respuesta en el incremento se puede deber a la reducción o metabolismo del selenito. Sin embargo, sobre este estudio no se observó efecto del Se como complemento, en la concentración de Se en líquido ruminal. Se especula que raciones altas en concentrado reducen la disponibilidad de Se en rumen y en consecuencia, disminuyen su absorción [7].

TABLA II
CONCENTRACIONES DE MICROORGANISMOS, SELENIO Y PRODUCCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES CO₂ Y METANO EN RUMEN ANTES Y DESPUÉS DE COMPLEMENTAR DOS FUENTES DE SELENIO

	<i>Sin complemento de selenio</i>	<i>Selenito de sodio</i>	<i>Selenometionina</i>	<i>EEM</i>
pH rumen	6,20 ^a	6,02 ^b	6,20 ^a	0,18
Protozoarios , ml x 10 ⁶	8,72 ^a	6,09 ^b	9,97 ^c	0,47
Bacterias, mL x 10 ⁹	1,52 ^a	2,08 ^b	2,34 ^b	0,22
Se en Bacterias	0,33	0,33	0,32	0,05
Se en líquido rumen	0,08	0,09	0,10	0,03
AGV (mol/100 mol)				
Acetato	55,85	55,20	57,90	0,03
Propionato	30,45	32,30	28,30	0,05
Butirato	13,70	12,50	13,90	0,03
Metano (mM)	0,27	0,25	0,28	0,04
CO ₂ (mM)	0,56	0,54	0,56	0,04

^{a,b,c} Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencia significativa ($P < 0,05$).

No existen evidencias de que el Se se absorba en la pared del rumen; al parecer, los microbios del rumen son capaces de reducir las sales de Se como selenato o selenito de sodio a Se elemental, forma que no puede ser utilizada por el animal hospedador [11]. Los microbios del rumen también pueden incorporar el Se ingerido dentro de sus células [11] y conducirlo al organismo animal a través de la masa microbiana que es degradada en la porción del intestino delgado. Serra y col. [22] observaron que el ambiente del rumen influye significativamente en el contenido de Se en el líquido ruminal en sus diferentes fracciones. El Se fue utilizado por las bacterias y se presentó un incremento en la población, pero no en la concentración de Se bacteriano, cuando se complementaron ambas fuentes. Las bacterias ruminales son capaces de metabolizar el Se inorgánico [10, 11], se desconoce si la utilización del Se disponible en el ambiente ruminal dependa de los microorganismos presentes, debido a la influencia de la dieta consumida por el animal [14]. Al parecer, el Se no es un elemento esencial para los microorganismos celulolíticos del rumen [25]. El Se inhibe los microorganismos celulolíticos y probablemente estimule los microorganismos proteolíticos, indicando un ligero mejoramiento en la digestibilidad de proteína [25, 26], pero estos supuestos deben ser más investigados.

La TABLA III presenta los resultados de la concentración de Se en sangre. A los 5 días de administrar las fuentes de selenito y selenometionina, el Se incrementó el doble en el tejido sanguíneo; esta respuesta fue totalmente diferente 14 días después de iniciar los complementos. La diferencia de respuestas puede tener una explicación biológica: inicialmente cuando se administraron las fuentes, el organismo animal reflejó este incremento en sangre y depósitos de Se en el tejido muscular e hígado [2]. En este estudio la mayor concentración de Se fue en riñón e hígado y posteriormente en los demás tejidos ($P < 0,05$, TABLA IV).

Hudson y col. [12] observaron un incremento de Se sanguíneo después de la primera semana de la administración oral de comprimidos con Se. Sin embargo, en este trabajo, aunque sólo hubo diferencias en el primer muestreo, las concentraciones de Se en ambos tratamientos resultaron adecuadas como concentración idónea que no refleja la deficiencia de Se [7]. Shiobara y col. [28] proporcionaron dietas con dosis altas de selenito de sodio y selenometionina (2 ppm) por un periodo de 12 semanas; asimismo, las concentraciones de Se sanguíneo de ratas (*Rattus norvegicus*) complementadas con selenometionina fueron significativamente mayores ($P < 0,05$) que las ratas complementadas con selenito de sodio, pero esta respuesta no se observó en plasma. Controversialmente al trabajo se menciona un incremento de Se en sangre más lentamente con la complementación y declina de igual manera sin complemento [7]. Otras investigaciones sugieren que las concentraciones en suero e hígado son las idóneas para la medición del estatus de Se [18].

En el caso de biopsias y necropsias se ha determinado que la mayor concentración del mineral se encuentra en músculo esquelético y posteriormente en hígado o riñón [27, 30], con proporciones de 33,5; 4,4 y 6,5%, respectivamente [18].

TABLA III
CONCENTRACIONES DE SELENIO (PPM) EN SANGRE DE CORDEROS ANTES Y DESPUÉS DE COMPLEMENTAR DOS FUENTES DE SELENIO

	Sin complemento de selenio	Selenito de sodio	Selenometionina	EEM*
Sangre 5d	0,122 ^a	0,242 ^b	0,205 ^b	0,03
Sangre 14d	0,120	0,124	0,124	0,01

^{a,b}Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencia significativa ($P < 0,01$). * Error standard de la media.

TABLA IV
CONCENTRACIONES DE SELENIO (PPM) EN TEJIDOS DE CORDEROS DESPUÉS DE COMPLEMENTAR DOS FUENTES DE SELENIO

	Selenito de sodio	Selenometionina	EEM*
Riñón	0,73 ^a	0,66 ^a	0,07
Musculo	0,31 ^b	0,34 ^b	0,07
Hígado	0,53 ^c	0,36 ^{bc}	0,08
Corazón	0,32 ^b	0,30 ^b	0,04

Letras diferentes entre tejidos por tratamiento muestra diferencia significativa ($P < 0,05$). * Error standard de la media.

CONCLUSIONES

La absorción y digestibilidad del selenito de sodio y selenometionina no mostraron diferencias en el tracto digestivo de los ovinos y en la acumulación de Se en los tejidos. Ambas fuentes mostraron un comportamiento fisiológico similar en biodisponibilidad.

AGRADECIMIENTO

El proyecto fue financiado por la Línea 7: Inocuidad, calidad de alimentos y bioseguridad del Colegio de Postgraduados de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABD, G.H.; LÓPEZ, A.R.; REVILLA, V.A.; RAMÍREZ, B.E.; TÓRTORA, J. The relationship between fetal and maternal selenium concentrations in sheep and goat. **Small Rum. Res.** 73: 174-180. 2007.
- [2] ABD, G.H.; TÓRTORA-PÉREZ, J.L. The importance of selenium and effects of its deficiency in health. **Small Rum. Res.** 89: 185-192. 2010.
- [3] ALFARO, E.M.W.; NEATHERY, W.J.; MILLER, R.P.; GENTRY, C.T.; CROWE, A.S.; FIELDING, R.E. Effects of varying the amounts of dietary calcium on selenium metabolism in dairy calves. **J. Dairy Sci.** 70:831-838. 1987.

- [4] BAKER, F. J. P. Procedimientos bioquímicos en la cuantificación de microorganismos. **Manual de técnicas bacteriológicas**. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 227-228 pp. 1970.
- [5] BECKETT, G.J.; ARTHUR, J.R.; MILLER, S.M.; MCKENZIE, R.C. Minerals and Immune responses-selenium. Eds: DA Hughes, LG Darlinton and A. Bendich. In: **Diet and Human Immune Function**. Humana Press USA. 217-240 pp. 2004.
- [6] CRISTALDI, L.A.; MCDOWELL, L.R.; BUERGELT, C.D.; DAVIS, P.A.; WLKINSON, N.S.; MARTIN, F.G. Tolerance of inorganic selenium in weather sheep. **Small Rum. Res.** 56: 205-213. 2005.
- [7] GERLOFF, B.J. Effect of selenium supplementation on dairy cattle. **J. Anim. Sci.** 70: 3934-3940. 1992.
- [8] HARRISON, J.H.; HANCOCK, D.D.; CONRAD, H.R. Vitamin E and selenium for reproduction of the dairy cow. **J. Dairy Sci.** 67:123-132. 1984.
- [9] HERNÁNDEZ, L.M.; GUERRERO, M.I.; PÉREZ, M.I.; LÓPEZ, R.; RAMÍREZ, J.E. Interaction of dietary selenium and magnesium level on digestive function in lambs fed high-concentrate diets. **J. Appl. Anim. Res.** 31: 41-46. 2007.
- [10] HIDIROGLU, M.; LESSARD, J.R. The effect of selenium or vitamin E supplementation on volatile fatty acid content of rumen liquor in sheep fed a purified diet. **Inter. J. Vit. Nutr. Res.** 46: 458-463. 1976.
- [11] HUDMAN, J.F.; GLENN, A.R. Selenite intake and incorporation by *Selenomonas ruminantium*. **Arch. Microbiol.** 140: 252-256. 1984.
- [12] HUDSON, G.L.; BROWN, T.H.; KEMPE, B.R.; TURNBULL, R.K. Trace element and vitamin B12 status of sheep given an oral dose of one, two or four soluble glass pellets containing copper, selenium and cobalt. **Aust. J. Exp. Agric.** 28: 299-305. 1988.
- [13] JURISIC, S.V.; KNEZEVIC, Z.K.; GRGIC, J. Determination of selenium in teucrium species by hydride generation atomic absorption Spectrometria. **Z. Naturforsch.** 58c:43-145. 2003.
- [14] KIM, J.; VAN SOEST, P.J.; COMBS, G.F. Studies on the effects of selenium on rumen microbial fermentation in vitro. **Biol. Trace Element. Res.** 56: 203-213. 1997.
- [15] KOENING, K.M.; BUCKLEY, W.T.; SHELFORD, J.A. True absorption of selenium in dairy cows: stable isotope tracer methodology and effect of dietary copper. **Can. J. Anim. Sci.** 71:175-183. 1991.
- [16] KOENING, K.M.; RODE, L.M.; COHEN, R.D.H.; BUCKLEY, W.T. Effects of diet and chemical form of selenium on selenium metabolism in sheep. **J. Anim. Sci.** 75:817-827. 1997.
- [17] MAHAN, D.C. Effects of organic and inorganic selenium sources and levels on sow calostrum and milk selenium content. **J. Anim. Sci.** 78:100-105. 2000.
- [18] MILLER, W.J. New concepts and developments in metabolism and homeostasis of inorganic elements in dairy cattle. A review. **J. Dairy Sci.** 50:1549-1560. 1974.
- [19] NAZIROGLU, M.M.; AKSAKAL, A.; KUZULARDA, E. Vitamini ve selenyumun rumen protozoonlari Üzerine etkileri. **Tr. J. Vet. Anim. Sci.** 21:81-90. 1997.
- [20] NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Small Ruminants. Sheep, goats, cervids, and new world camelids. The National Academy Press, Washington, D.C. 362 pp. 2007.
- [21] PAPAZYAN, T.T.; DENEV, S.A.; SURAI, P.F. Selenium in Poultry Nutrition. Lesson from research and wild nature. **Krmiva.** 48: 275-283. 2006.
- [22] PETER, D.W.; HUNTER, R.A.; HUDSON, D.R. Optimum Selenium grain size for selenium pellets. In: **Trace Element Metabolism in Man and Animals**. J McC Howell and JM White (Eds). Australian Academ. Science. Camberra. 218-221pp. 1981.
- [23] RAMÍREZ, B.E.; TORTORA, J.L.; HUERTA, M.; HERNÁNDEZ, L.M. Diagnosis of selenium status in grazing dairy goats on the Mexican Plateau. **Small Rum. Res.** 41: 81-85. 2001.
- [24] REVILLA-VÁSQUEZ, A.; RAMÍREZ-BRIBIESCA, E.; LÓPEZ-ARELLANO, R.; HERNÁNDEZ-CALVA, L.M.; TÓRTORA-PÉREZ, J.; GARCÍA-GARCÍA, E.; CRUZ-MONTERROSA, R.G. Suplemento de selenio con bolos intrarruminales de selenito de sodio en ovinos. **Agrocien.** 42: 629-635. 2008.
- [25] SERRA, A.B.; NAKAMURA, K.; MATSUI, T.; HARUMOTO, T.; FUJIHARA, T. Inorganic selenium for sheep I. Selenium balance and selenium levels in the different ruminal fluid fractions. **Asian J. Anim. Sci** 7:83-89. 1994a.
- [26] SERRA, A.B.; NAKAMURA, K.T.; MATSUI, T.H.; FUJIHARA, T. Inorganic selenium for sheep.II. Its influence on rumen bacterial yield, volatile fatty acid production and total tract digestion of timothy hay. **App. J. A. Sci.**, 7: 91-96. 1994b.
- [27] SHAMBERGUER, J.R. B. Disposition of selenium in tissues. **Biochemistry of Selenium**. New York and London: Plenum Press. 432 pp, 1981.
- [28] SHIOBARA, Y.; YOSHIDA, T.; SUZUKI, K.Z. Effects of dietary selenium species on Se concentrations in hair, blood and urine. **Toxicol. Appl. Pharmacol.** 52:309-314. 1988.
- [29] STEEL, R.G.; TORRIE, J.H. Análisis de covarianzas. **Bioestadística: Principios y Procedimientos**. 2^{da} Ed. McGraw-Hill. 345 pp. 1980.

- [30] STOWE, H.D.; HERDT, T.M. Clinical Assessment of selenium status of livestock. **J. Anim. Sci.** 70: 3928- 3933. 1992.
- [31] WHANGER, P.D.; WESWING, P.H.; OLDFIELD, J.E. Selenium, sulfur and nitrogen levels in ovine rumen microorganisms. **J. Anim. Sci.** 46:515-519. 1978.
- [32] WOLIN, M.J.A. Theoretical rumen fermentation balance. **J. Dairy Sci.** 43: 1452-1459. 1960.
- [33] YEH, J.Y.; VENDELAND, S.C.; GU, Q.P.; BUTLER, J.A.; OU, B.R.; WHANGER, P.D. Dietary selenium increases selenoprotein W levels in rat tissues. **J. Nutr.** 127:2165-2172. 1997.
- [34] ZANETTI, M.A.; PETTINATI, R.L. Selenium balance in sheep. **J. Dairy Sci.** 72 (Suppl. 1): 480 (Abstr.). 1989.
- [35] ZINN, R.A. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. **J. Anim. Sci.** 66:213-227. 1988.
- [36] ZINN, R.A. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. **J. Anim. Sci.** 68: 767-775. 1990.
- [37] ZINN, R.A.; OWENS, F.N. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net protein synthesis. **Can. J. Anim. Sci.** 66:157-166. 1986.