

Niveles de Selenio en suelo, pasto y en ovejas: Influencia del suplemento de Selenio en la concentración de IgG en ovejas gestantes y corderos

Selenium levels in soil, grass and sheep: Influence of Se supplementation on the IgG concentration in pregnant ewes and lambs

Soledad Díaz-Zarco¹ , Roberto Montes-de-Oca-Jiménez^{1,†}  y
María Carla Rodríguez-Domínguez¹ 

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Panamericana Toluca-Atlacomulco km 15.5, San Cayetano. 50200 Toluca, Estado de México, México.

[†] Autor para correspondencia (romojimenez@yahoo.com)

Editora de Sección: Dra. Gabriela Rodríguez Licea

RESUMEN

El efecto que genera la deficiencia de Selenio (Se) en el suelo y en los forrajes sobre los rendimientos de la producción ovina justifica el análisis de los niveles de este microelemento en el suelo, pasto y ovejas en diferentes regiones del Estado de México a partir de la evaluación de la actividad enzimática de GSH-Px y de la influencia del suplemento de Se sobre la concentración de IgG en ovejas gestantes y corderos. Los resultados evidencian que los suelos y forrajes mexiquenses presentan deficiencias de Se en niveles de ± 0.02 y 0.03 ± 0.12 mg kg⁻¹, respectivamente. Los niveles de Se y la actividad GSH-Px promedio en sangre de ovinos sometidos solo a pastoreo, fueron igualmente deficientes con valores de 0.02 ± 0.04 mg kg⁻¹ y 51.54 ± 24.55 U g⁻¹ Hb. Se observaron valores de GSH-Px estadísticamente significativos entre los grupos de diferentes regiones y razas de ovejas, siendo mayor en ovinos criollos respecto a Suffolk ($P < 0.05$). No hubo diferencias estadísticas significativas en los valores de Se en suelo y pasto, de acuerdo con el tipo de suelo, pH, contenido de materia orgánica o etapas de mayor precipitación pluvial. El suplemento de selenito de sodio a razón de 5 mg mL⁻¹ x 100 kilogramos de peso en ovejas gestantes permitió identificar diferencias estadísticas significativas ($P < 0.01$) en los niveles de Se de los animales tratados en relación con el control negativo, pero suficientes para que los animales

suplementados alcanzaran de manera constante los niveles recomendados de este elemento. Los niveles de IgG aumentaron en animales suplementados con Se pero no se observaron diferencias estadísticas entre grupos. Por lo anterior, se deduce que el Se constituye un nutriente importante en la ovinocultura por lo que se les deben administrar dosis adecuadas a los rebaños para mejorar la productividad en las unidades productivas mexiquenses

Palabras claves: GSH-Px, IgG, ovinos, niveles de selenio, suelo y pasto.

SUMMARY

The effect generated by the deficiency of Selenium (Se) in the soil and in the forages on the yields of sheep production justifies the analysis of the levels of this microelement in the soil, pasture and sheep in different regions of the State of Mexico from of the evaluation of the enzymatic activity of GSH-Px and the influence of Se supplementation on IgG concentration in pregnant ewes and lambs. The results show that Mexiquense soils and forages present Se deficiencies at levels of ± 0.02 and 0.03 ± 0.12 mg kg⁻¹, respectively. The levels of Se and the average GSH-Px activity in the blood of sheep subjected only to grazing were equally deficient with values of 0.02 ± 0.04 mg kg⁻¹ and 51.54 ± 24.55 U g⁻¹ Hb. Statistically significant GSH-Px values were observed between groups from

Cita recomendada:

Díaz-Zarco, S., Montes-de-Oca-Jiménez, R. y Rodríguez-Domínguez, M. C. (2022). Niveles de Selenio en suelo, pasto y en ovejas: Influencia del suplemento de Selenio en la concentración de IgG en ovejas gestantes y corderos. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-14. e950. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.950>

Recibido: 1 de abril de 2021. Aceptado: 25 de enero de 2022.

Artículo. Volumen 40, julio de 2022.

different regions and sheep breeds, being higher in creole sheep compared to Suffolk ($P < 0.05$). There were no statistically significant differences in Se values in soil and grass, according to soil type, pH, organic matter content or stages of higher rainfall. The sodium selenite supplement at a rate of 5 mg mL⁻¹ x 100 kilograms of weight in pregnant sheep allowed to identify significant statistical differences ($P < 0.01$) in the Se levels of the treated animals in relation to the negative control, but enough for the supplemented animals to consistently reach the recommended levels of this element. IgG levels increased in animals supplemented with Se but no statistical differences were observed between groups. From the foregoing, it follows that it is an important nutrient in sheep farming, so adequate doses should be administered to the herds to improve productivity in the Mexican production units.

Index words: GSH-Px, IgG, selenium levels, sheep, soil and grass.

INTRODUCCIÓN

La deficiencia de minerales traza en suelos, pastos y forrajes de diversas regiones ganaderas es común en México y a nivel mundial (Cabrera-Torres, Sosa, Castellanos, Gutiérrez y Ramírez, 2009; Udo de Haes *et al.*, 2012; Márquez-Madrid, Gutiérrez, Bañuelos, Muro y Valdez, 2017), los suelos deficientes de minerales reducen la disponibilidad de productos agrícolas demandados en diferentes actividades pecuarias como el caso de la ovinocultura (Udo de Haes *et al.*, 2012). En los rebaños los ovinos pueden padecer deficiencias de nutrientes debido a alimentación basada en pastos y forrajes de mala calidad o al suministro de cantidades inadecuadas de minerales contenidas en el alimento; lo que propicia una disminución en la producción, fallas reproductivas, aumento de la mortalidad y mayor susceptibilidad a enfermedades y parásitos, por tal motivo, los minerales se requieren en la dieta de ovino y caprinos, particularmente el Selenio (Se) dado que es un microelemento esencial para el crecimiento, reproducción y salud adecuada durante el ciclo de vida del animal (Ghaderzadeh, Aghjeh-Gheshlagh, Nikbin y Navidshad, 2016).

El micromineral u oligoelemento referido se distribuye en el organismo en pequeñas cantidades, por lo que representa menos del 0.3% del total de minerales

almacenados en el cuerpo y 0.02% en la dieta (Mahan y Shields, 1998; Souza *et al.*, 2013); sin embargo, desempeña un papel importante en el mantenimiento del metabolismo celular normal de los animales y, forma parte de la estructura de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px) encargada de la eliminación de peróxidos y otros radicales libres resultantes del catabolismo de los ácidos grasos previniendo así el daño por oxidación tisular (Carrillo-Nieto *et al.*, 2018; Zoidis, Seremelis, Kontopoulos y Danezis, 2018).

La mayoría de los estudios sobre requerimientos nutricionales minerales se realizan en animales confinados, bajo el argumento de que el pastoreo satisface las necesidades de los animales porque las plantas forrajeras, el suelo y el agua tienen concentraciones suficientes; sin embargo, las temporadas de lluvia o sequía, el cambio climático, el tipo y origen geológico del suelo, el período de escasez de alimento o la inactividad de las plantas (Márquez-Madrid *et al.*, 2017) hacen necesaria la suplementación de microminerales, principalmente en etapas de preñez, parto y lactancia (Ghaderzadeh *et al.*, 2016).

La evidencia experimental indica que una dieta suplementada con Se en sementales ovinos aumenta la actividad enzimática GSH-Px y eleva la concentración de testosterona (Mahmoud, 2013). Por otro lado, estudios realizados en caprinos suplementados con Se y Zinc evidenciaron el incremento en la actividad de las enzimas superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GSHPx), glutatión reductasa (GSHR) y catalasa (CAT) en el plasma seminal, aumento de hormona triyodotironina (T3) y testosterona, con mayor protección a los espermatozoides contra el daño oxidativo; mejorando las condiciones antioxidantes en el organismo y los niveles hormonales (Kumar, Yadav y Yadav, 2013). Finalmente, un estudio realizado sobre la alimentación de pequeños rumiantes a base de forrajes arrojó que ante una deficiencia de minerales como Se debe darse suplementos vía administración parenteral, adición de mezclas en el alimento o a través de la aplicación de bolos y comprimidos de Se intraruminales (Langlands, Donald, Bowles y Smith, 1994, Ramírez-Briebesca *et al.*, 2005; Revilla-Vázquez *et al.*, 2008).

A partir de las evidencias, se destaca la importancia que tiene la producción de pequeños rumiantes en el Estado de México, particularmente la ovinocultura la cual está considerada como una actividad económico-pecuaria consolidada en diferentes regiones de esta entidad federativa, de ahí que se tenga especial interés

en analizar la importancia que tiene la suplementación nutricional de Se para eficientizar los sistemas productivos ovinos. Ante este panorama, el objetivo de la investigación es determinar los niveles de este microelemento en suelo, pasto y sangre de dos razas de ovejas producidas en regiones mexiquenses bajo sistemas de pastoreo y determinar la actividad de la enzima glutatión peroxidasa y la influencia del suplemento de este mineral sobre la concentración de IgG en ovejas gestantes y sus corderos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y Toma de Muestras

El inventario ovino objeto de estudio para la determinación de los niveles de Se y la actividad de la Glutatión peroxidasa (GSH-Px) incluyó ovejas producidas bajo sistemas de pastoreo durante el día sin suplementación y encierro nocturno en unidades productivas ubicadas territorialmente en tres zonas del municipio San Felipe del Progreso, Estado de México. Los animales muestreados se ubican en comunidades elegidas al azar, las cuales representan el 28.57% de las comunidades del municipio.

La concentración de Se y la actividad GSH-Px, se evaluó en 403 muestras de sangre con heparina y con EDTA, colectadas por venopunción yugular hasta obtener un volumen final de 7 mililitros (ml) de sangre. La fórmula planteada por Cannon y Roe 1982, los indicadores nivel de confianza de 95%, la prevalencia esperada de 10% y la precisión absoluta deseada de 5% se utilizaron para establecer el tamaño del inventario ovino objeto de estudio.

Las muestras de suelo y pasto fueron obtenidas en zonas de pastoreo de los rebaños sujetos al análisis de Se en sangre y actividad de GSH-Px; y, de cinco pozos con una profundidad de 50 cm de profundidad se extrajo tierra, homogenizándose para la toma de muestra de un kilogramo de suelo aproximadamente. Las muestras de pastos fueron adquiridas de segmentos de suelo colectados y evaluadas para la determinación de pH y contenido de materia orgánica.

Para el análisis de la influencia de la suplementación con selenito de Sodio a una dosis de 5 mg mL⁻¹ por cada 100 kg de peso corporal, administrados vía intramuscular según el peso corporal correspondiente, se ocuparon 11 ovejas Suffolk gestantes que recibieron el tratamiento y 11 que no fueron suplementadas. Todos los animales

fueron desparasitados oralmente cada 21 días con Albendazol alternado con Fenbendazol. Del total de animales se colectaron muestras de sangre y suero para determinar las concentraciones de Se y IgG séricas en diferentes tiempos de muestreo (gestación, parto y lactancia). Los parámetros también se evaluaron en 30 corderos nacidos de madres suplementadas o no con selenito de Sodio: 15 de madres bajo suplementación y 15 de madres sin tratamiento, muestreados durante el periodo de nacimiento y destete, a 15, 30 y 45 días.

Las muestras se obtuvieron por venopunción yugular, previa asepsia de la zona, hasta obtener aproximadamente 5 ml de sangre en tubos vacutainer con EDTA y en tubos sin anticoagulante. En todas las muestras el suero se obtuvo por centrifugación (1200 granos x 10 minutos) y se conservó en crioviales bajo congelación -70 °C; mientras que, la sangre completa se conservó en refrigeración 4-6 °C hasta el momento de realizar las pruebas respectivas.

Determinación de la Actividad GSH-Px

La actividad de la enzima GSH-Px se determinó en muestras de sangre colectadas con heparina como anticoagulante. Las muestras (1 ml) se sometieron a hemólisis y se mezclaron con 0.5 K₂HPO₄ (pH 7.0), 2.5 mm EDTA, 0.18 U mL⁻¹ Glutatión reductasa, 100 mm de glutatión, 10 mm NADPH y 0.1 ml de 60 mm H₂O₂. El monitoreo de la actividad GSH-Px se determina mediante el acoplamiento de la oxidación de glutatión y NADPH, donde participa la enzima GSH-Px. La lectura de la conversión de NADPH a NADP, se midió a 366 nm en un espectrofotómetro Hitachi 4020 (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim), según el método descrito por Paglia y Valantine (1967). La actividad GSH-Px se estimó en U g⁻¹ de Hemoglobina (Hb), siendo considerados como deficientes los valores menores a 60 U g⁻¹ Hb, bajos entre 61 y 100 U g⁻¹ Hb, marginales de 101 a 130 U g⁻¹ Hb y apropiados los superiores a 130 U g⁻¹ Hb, según lo planteado por Ceballos y Wittwer (1996).

Detección de los Niveles de Selenio Mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica

Las muestras de sangre, suelo y pasto se sometieron a digestión con ácido nítrico concentrado a temperatura de 80 °C aclararlas, se filtraron y aforaron para su lectura en espectrofotómetro de absorción atómica con

generación de hidruros, según la metodología propuesta por Edwards y Blackburn (1986). Previamente se realizó la estandarización de la sensibilidad del equipo a partir de una solución patrón de 1 mg kg^{-1} de Se, para obtener los estándares necesarios de 10, 20, 50 y 100 ng ml^{-1} , para el trazo de la curva de calibración, efectuada por el espectrofotómetro. Los resultados obtenidos se expresaron en mg kg^{-1} , siendo el valor mínimo detectable de 0.002 mg kg^{-1} , miligramos por cada kilogramo de peso del animal.

ELISA para la Detección de IgG Totales

Para medir la concentración de anticuerpos IgG totales en suero sanguíneo se utilizó el método de ELISA directo. Para ello se sensibilizaron placas de 96 pocillos de fondo plano con los sueros problemas diluidos en buffer de carbonatos pH 9.6 ($1/10^4$ para suero sanguíneo) a razón de $100 \mu\text{L}$ por cada pocillo y se incubó 16 horas a 4°C . Posteriormente se eliminó el exceso de solución por decantación y se lavó cada pozo 5 veces consecutivas con PBS-Tween 20 (pH 7.4). Luego se bloqueó con Albúmina Sérica Bovina al 10% en buffer de carbonatos (pH 9.6) y se incubó 16 horas a 4°C . El paso de lavado se realizó nuevamente y se adicionó el conjugado anti-IgG ovino (Sigma Chemical, USA) marcado con peroxidasa, diluido en PBS-Tween ($1:1.500$), incubado por 90 min a 37°C . El sustrato ($\text{ABTS-H}_2\text{O}_2$ 1:1) se agregó y se incubó por 15 min a temperatura ambiente, para posteriormente realizar la lectura en un espectrofotómetro Hitachi 4020 (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim) a una absorbancia de 405 nm. Los resultados se expresaron en mg mL^{-1} , para lo que se estableció una curva de calibración por placa, con IgG purificado y de concentración conocida, diluida en buffer de carbonatos (pH 9.6) y un control negativo.

Análisis Estadístico

La determinación de los niveles de Se y actividad de GSH-Px en ovejas sin suplementación, en regiones de pastoreo, se realizó mediante un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial desbalanceado. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza, para un diseño factorial. El análisis se realizó en función de las regiones con 3 niveles, la raza de ovinos muestreado con 2 niveles, sexo con 2 niveles y edades con 9 niveles. Los factores para Se en suelo y

pasto fueron: época con 2 niveles, región con 3 niveles, tipo de suelo con 2 niveles, pH del suelo con 3 niveles y materia orgánica del suelo con 3 niveles. La evaluación del efecto de la suplementación con Selenito de sodio en ovejas gestantes y su repercusión en los corderos, se midió según los niveles de Se y anticuerpos IgG totales. La comparación de los promedios por grupo de tratamiento versus el grupo control fue analizada con una serie de Análisis de Varianza de una vía, utilizando el procedimiento de comparación de medias por segmento (Tukey) con significancia estadística ($P < 0.05$). Por otra parte, se asociaron los niveles de Se circulante con los parámetros evaluados mediante un análisis de Regresión Lineal Simple ($P < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Niveles de Selenio: Ovinos, Suelo y Pasto

Los resultados obtenidos en ovejas producidas en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de Mexico, indicaron que los niveles de Se en sangre son deficientes con índices por debajo de lo establecido. Los niveles y la actividad de GSH-Px promedio conservados en sangre de ovinos sometidos solo a pastoreo sin suplementación con Se, fueron $0.02 \pm 0.04 \text{ mg kg}^{-1}$ y $51.54 \pm 24.55 \text{ U g}^{-1} \text{ Hb}$, respectivamente. Los valores promedios para diferentes edades evaluadas se muestran en el Cuadro 1.

El criterio diagnóstico sobre los niveles de Se en sangre de ovinos sugiere que valores por debajo de 0.05 mg kg^{-1} son deficientes; entre 0.05 a 0.075 mg kg^{-1} son bajos; de 0.076 a 0.1 mg kg^{-1} son marginales y de 0.1 a 0.2 mg kg^{-1} son adecuados (Ramírez-Briebesca, Hernández, Hernández y Tórtora, 2004). Por otra parte, el contenido de Se en los tejidos representa un indicador del nivel de este mineral en el organismo; los valores pueden variar según el contenido dietético. Valores de 1.0 mg kg^{-1} en corteza renal y 0.1 mg kg^{-1} en el hígado (materia húmeda) se consideran en el límite, mientras que concentraciones de 0.02 mg kg^{-1} establecen una deficiencia considerable (Hefnawy y Tórtora, 2008; Hall *et al.*, 2014).

Al presentar valores bajos de Se la actividad registrada para la enzima GSH-Px, fue deficiente, con valores estadísticamente significativos entre los grupos de diferentes regiones y razas de ovejas con una mayor actividad enzimática en ovinos criollos respecto a los Suffolk ($P < 0.05$).

Cuadro 1. Niveles de Selenio (mg kg⁻¹) y actividad enzimática GSH-Px (U g⁻¹ Hb) en sangre de ovinos de diferentes rangos de edad, razas y sexo, de San Felipe del Progreso, México.**Table 1. Selenium levels (mg kg⁻¹) and GSH-Px (U g⁻¹ Hb) enzyme activity in blood of sheep with different age ranges, races and sex from San Felipe del Progreso, Mexico.**

Parámetros		Niveles de Selenio			Actividad enzimática		
		Rango	X	DS	Rango	X	DS
		----- mg kg ⁻¹ -----			----- U g ⁻¹ Hb -----		
Edad en meses	> 0	6	*0.002-0.3	0.2 ±	0.05 a	22.90-99.80	45.95 ± 13.47 a
	>6	12	0.002 -0.25	0.03 ±	0.04 a	16.13-183.63	56.97 ± 28.27 a
	>18	24	0.002 -0.23	0.01 ±	0.03 a	17.35-161.53	54.94 ± 26.79 a
	>24	30	0.002 -0.12	0.02 ±	0.03 a	50.84-51.56	59.98 ± 24.11 a
	>30	36	0.002 -0.27	0.01 ±	0.03 a	15.68-214.16	47.95 ± 23.12 a
	>36	42	0.002 -0.26	0.03 ±	0.08 a	26.85-47.90	41.23 ± 9.84 a
	>42	48	0.002 -0.11	0.01 ±	0.01 a	**15.00-186.94	48.69 ± 28.89 a
	> de	48	0.002 -0.03	0.01 ±	0.008 a	22.80-95.23	53.44 ± 24.16 a
Raza	Totales		0.002 -0.3	0.02 ±	0.04 a	15.00-214.16	51.44 ± 24.16
	Criolla		*0.002-0.3	0.02 ±	0.04 a	**15.00-214.16	53 ± 27.05 a
	Suffolk		0.002-0.27	0.01 ±	0.03 a	21.41-119.37	46.93 ± 15.40 b
Sexo	Hembras		*0.002-0.3	0.02 ±	0.04 a	**15.00-214.16	51.3 ± 24.91 a
	Macho		0.002-0.26	0.02 ±	0.04 a	18.19-155.40	51.75 ± 23.29 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). *0.002 mg kg⁻¹ nivel mínimo de Selenio. **15.00 u g⁻¹ nivel mínimo de GSH-Px.

Different letters in the same column are indicative of significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). *0.002 mg kg⁻¹ minimum levels of selenium. **15.00 u g⁻¹ minimum levels of GSH-Px.

En México la ovinocultura es parte fundamental de la actividad ganadera, la cual se prevé que continúe aumentando su desarrollo en los próximos años (FAO, 2018). El Se es un oligoelemento que favorece la ganancia de peso, aumenta la tasa de sobrevivencia de recién nacidos, estimula la respuesta inmunitaria y favorece el funcionamiento del sistema reproductivo (Hall *et al.*, 2012). La deficiencia de este mineral se ha asociado con la distrofia muscular nutricional que afecta músculo esquelético, cardíaco, diafragma en ovinos y bovinos (NRC, 2007; Domínguez y Huerta, 2008). La miopatía nutricional degenerativa se considera el padecimiento más importante causado por la deficiencia de Se. También conocida por enfermedad del músculo blanco, es una enfermedad que se caracteriza por la aparición de problemas locomotores en los animales jóvenes. Los signos clínicos dependen de la extensión y severidad de las lesiones en músculo esquelético y cardíaco, con problemas en los corderos para

sostenerse en pie, inanición por falta de alimentación o complicaciones secundarias como neumonía. Los animales padecen de infartos de miocardio, lo que ocasiona la muerte, además es frecuente observar anemia y edema general que determina la presencia de ascitis (Gresáková, Cobanová y Faix, 2013).

La enzima GSH-Px (88.0 kDa), participa en reacciones de óxido-reducción, con destrucción de peróxidos de ácidos grasos o hidroperóxidos del organismo. En la estructura de la proteína GSH-x, existen 4 sitios de unión a Se por cada subunidad proteica, siendo este elemento un componente integral fundamental para la enzima (Ferguson y Karunasinghe, 2011). La deficiencia de esta mineral traza conlleva a la disminución de la actividad de la enzima, lo que incrementa los niveles plasmáticos del H₂O₂ y otros peróxidos, causa afectaciones en los endotelios capilares, los eritrocitos, células plasmáticas y fibras musculares, con modificación de la homeostasis

celular y la función linfocitaria e inflamatoria crónica (Ferguson y Karunasinghe, 2011; Hall *et al.*, 2014).

En cuanto a los resultados obtenidos en ovejas de diferentes regiones: la sierra, lomerío y llanuras; así como de dos razas distintas, solo se observaron diferencias estadísticamente significativas para los valores de actividad enzimática GSH-Px sanguínea ($P < 0.05$), mientras que el análisis en función del sexo de los animales no evidencio diferencias significativas ($P > 0.05$), (Cuadro 1).

El promedio de los niveles de Se en el pasto y en el suelo fueron de $\pm 0.02 \text{ mg kg}^{-1}$ y $0.03 \pm 0.12 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente, siendo los valores de acuerdo con las regiones topográficas de $0.01 \pm 0.02 \text{ mg kg}^{-1}$ para las tres zonas de estudios. Con respecto al pasto los promedios fueron $0.03 \pm 0.14 \text{ mg kg}^{-1}$ en la región de la sierra; $0.02 \pm 0.07 \text{ mg kg}^{-1}$ en la región del lomerío y $0.08 \pm 0.22 \text{ mg kg}^{-1}$ en la región de la llanura, observándose diferencias estadísticas significativas

en pasto para las tres regiones ($P < 0.05$). El pH de los suelos fue considerado una variable a evaluar, siendo los valores de Se de 0.01 mg kg^{-1} para todas las clasificaciones de pH evaluadas, sin observarse diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$), (Cuadro 2).

El contenido de materia orgánica de suelos evaluados arroja niveles de Se de 0.01 mg kg^{-1} para las tres clasificaciones evaluadas, una desviación estándar de 0.01 mg kg^{-1} en suelo con buen contenido de materia orgánica y 0.02 mg kg^{-1} en los suelos con excelente y alto contenido de materia orgánica; no se registraron diferencias estadísticas significativas con ($P > 0.05$). Los suelos de tipo andosol húmico y planosol húmico presentaron niveles de Se de 0.01 mg kg^{-1} con desviaciones estándar de 0.02 y 0.01 mg kg^{-1} . Para el pasto evaluado en los dos tipos de suelos los niveles promedios de Se fueron de $0.03 \pm 0.11 \text{ mg kg}^{-1}$ en el suelo andosol húmico

Cuadro 2. Niveles de Selenio en suelo y pasto: diferentes regiones, pH del suelo, contenido de materia orgánica, tipo de suelo y precipitaciones pluviales.

Table 2. Selenium levels in soil and grass: different regions, pH of soil, organic matter content, soil type and rainfall.

Parámetros		Niveles de Selenio					
		Suelo			Pasto		
		----- mg kg ⁻¹ -----					
Región (m de altitud)	Sierra (2990)	*0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002 -0.81	0.03 ±	0.14 b
	Lomerío (2350)	0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002 -0.81	0.02 ±	0.07 c
	Llanura (2320)	0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002 -0.81	0.08 ±	0.22 a
	Totales	0.002-0.14	0.01 ±	0.02	0.002 -0.81	0.03 ±	0.12
pH de Suelo	4.0-4.9	*0.002-0.06	0.01 ±	0.01 a	0.002-0.18	0.01 ±	0.03 a
	5.0-5.9	0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002-0.81	0.03 ±	0.13 a
	6.0-6.9	0.002-0.05	0.01 ±	0.02 a	0.002-0.08	0.01 ±	0.01 a
Contenido de Materia Orgánica	2.5-3.5 Bueno	*0.002-0.05	0.01 ±	0.01 a	0.002-0.08	0.01 ±	0.02 a
	3.6-6.0 Excelente	0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002-0.81	0.04 ±	0.16 a
	>6 Alto	0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002-0.81	0.03 ±	0.11 a
Tipo de Suelo	Andosol húmico	* 0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002-0.81	0.03 ±	0.11 a
	Planosol húmico	0.002-0.05	0.01 ±	0.01 a	0.002-0.81	0.04 ±	0.15 a
Precipitación pluvial (mm)	Junio 55.0	* 0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002-0.81	0.03 ±	0.13 a
	Julio 45.0	0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002-0.81	0.04 ±	0.14 a
	Octubre 62.28	0.002-0.14	0.01 ±	0.01 a	0.002-0.81	0.04 ±	0.15 a
	Noviembre 49.56	0.002-0.14	0.01 ±	0.02 a	0.002-0.81	0.02 ±	0.07 a
	Diciembre 51.25	0.002-0.06	0.01 ±	0.01 a	0.02-0.81	0.09 ±	0.01 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). *0.002 mg kg⁻¹ Nivel mínimo de Selenio.

Different letters in the same column are indicative of significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). *0.002 mg kg⁻¹ minimum levels of Selenium.

y $0.04 \pm 0.15 \text{ mg kg}^{-1}$ para el planosol húmico, sin presentar diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$), (Cuadro 2). Teniendo en cuenta la época de muestreo y precipitación pluvial los valores de Se en suelo fueron en promedio de $0.01 \pm 0.02 \text{ mg kg}^{-1}$ para los cinco meses de muestreo excepto los meses de octubre y diciembre que presentaron una desviación estándar de 0.01 mg kg^{-1} . En pasto durante los meses evaluados no arrojaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), (Cuadro 2).

Los resultados de la prueba de correlación efectuado para las variables observadas no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$). En cuanto a las interacciones entre las diferentes variables solo mostraron diferencias significativas la actividad GSH-Px sanguínea, raza y región, actividad GSH-Px sanguínea, región y época, así como niveles de Se en sangre, raza y región ($P < 0.05$), Cuadro 3.

Las enfermedades asociadas a una deficiencia de Se en algunas regiones geográficas son bajas, estacionales y esporádicas; mientras que en otras la incidencia es más elevada y persistente, llegando a afectar al 10% o más del rebaño, sobre todo si se utiliza un manejo extensivo sin suplementación (Burk y Hill, 2009; Gresáková *et al.*, 2013). En este trabajo se demostró que las regiones y el suelo evaluados son deficientes de este mineral, así como también el pasto; por lo que los animales no pueden adquirir el nutriente. Aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas en los valores de Se en suelo y pasto de acuerdo con el tipo de suelo, pH, contenido de materia orgánica, así como tampoco en función de las etapas de mayor precipitación

pluvial, otros estudios indican que estos parámetros pueden influir en las concentraciones de este mineral en suelos y pastos (Hall, Van Saun, Nichols, Mosher y Pirelli, 2009; Khanal y Knight, 2010; Mehdi, Hornick, Istasse y Dufrasne, 2013). Los valores de Se en suelo, estimados como adecuados, se encuentran entre el rango de 0.1 a 0.5 mg kg^{-1} , mientras que concentraciones de 0.024 a 0.096 mg kg^{-1} son estimadas como deficientes. Los suelos derivados de rocas, en ambientes áridos y alcalinos son deficientes en Se (Alloway, 1995), así como los suelos ácidos que presentan abundante azufre combinado con altas precipitaciones pluviales reducen la disponibilidad de Se en las plantas (Khanal y Knight, 2010; Alhidary, Abdelrahman, Khan y Haroon, 2016). Teniendo en cuenta los análisis fisicoquímicos del suelo se establece que existen determinados componentes que influyen en la disponibilidad del mineral. Suelos arenosos se relacionan con la disminución de Se en el área evaluada; mientras que la arcilla favorece la concentración de este mineral (Hall *et al.*, 2009). Por su parte los forrajes y cereales cultivados en áreas con deficiencia de Se (menor a 0.1 mg kg^{-1}) también presentan bajas concentraciones de este mineral, mientras que los cultivos obtenidos en regiones con mayor disponibilidad de Se por lo general resultan con niveles adecuados. Para granos y forrajes valores de 0.1 mg kg^{-1} se consideran como adecuados, de 0.075 a 0.1 mg kg^{-1} se estiman como moderados y como bajos niveles concentraciones entre 0.05 y 0.075 mg kg^{-1} , con deficiencia para los cultivos con niveles por debajo de 0.05 mg kg^{-1} (Alimohamady, Aliarabi, Bahari y Dezfoulani, 2013).

Otros estudios realizados en México muestran niveles de minerales en agua, forraje, tejidos y fluidos de rumiantes en producción extensiva con diferencias entre las unidades de producción, épocas, edades y condición corporal del animal (Márquez-Madrid *et al.*, 2017; Carrillo-Nieto *et al.*, 2018). En las regiones de climas templados los forrajes presentan bajas concentraciones de Ca, Na, P, Cu, Mg, Se y Zn (Morales-Almaráz *et al.*, 2007; Domínguez y Huerta, 2008); mientras que en las zonas áridas de México existe deficiencia de P (Armienta, 1995¹). Para las zonas tropicales y subtropicales (Muñoz-González, Huerta, Lara, Rangel y Arana, 2016) se ha identificado mayor carencia de elementos como Ca, P, Mg, Na, Cu, Mn, Zn y Se (Cabrera-Torres *et al.*, 2009), en los forrajes deficiencia de Ca, Zn, Cu, K (Vivas, Rosado,

Cuadro 3. Correlación entre los niveles de Selenio en sangre de ovinos y la actividad de (GSH-Px), niveles en pasto y suelo de explotaciones ovinas de San Felipe del Progreso, México.

Table 3. Correlation between selenium levels in sheep blood and enzyme glutathione peroxidase (GSH-Px) activity, levels in grass and soil of sheep farms from San Felipe del Progreso, Mexico.

Variable	n	r	
Niveles de Se y actividad GSH-Px Sanguíneos	403	-0.010	*NS
Niveles de Se en pasto y sangre	96	-0.019	NS
Niveles de Se en suelo y pasto	96	-0.023	NS

*NS = no significativo.

*NS= not significant.

¹Armienta-Trejo, G. T. (1995). *Perfil mineral del suelo, forraje y tejidos del ganado en agostaderos del Estado de Nuevo León*. Tesis para obtener el grado de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/5657/>

Castellanos, Heredia y Cabrera, 2011), en ovinos menor concentración de Cu, Ca, Fe, K (Turiza-Chan, Castellanos, Rosado, Heredia y Cabrera, 2010) y en cabras deficiencia de Zn y Cu (Vázquez-Armijo *et al.*, 2011). Los resultados alcanzados en este trabajo ponen en evidencia que en el Estado de México se presenta la deficiencia de Se asociado al origen geológico y tipo de suelo por debajo del rango estimado como valores normales ($0.1 - 0.5 \text{ mg kg}^{-1}$) y por ende en los forrajes y granos, presentándose baja actividad de GSH-Px en ovejas; aunado a lo anterior, no se realiza suplementación mineral en ovejas y corderos lo que conlleva a una pobre eficiencia productiva y reproductiva en el rebaño ovino y a la predisposición a diversos padecimientos infecciosos y a altas tasas de mortalidad perinatal.

Niveles de Selenio: En ovejas durante etapas de Gestación, Parto, Lactancia, y en Corderos

La concentración promedio general de Se en sangre de las ovejas que recibieron tratamiento fue de 0.061 mg kg^{-1} y 0.037 mg kg^{-1} en el grupo de ovejas no tratadas ($P < 0.01$), (Cuadro 4).

Los niveles de Se en corderos provenientes de madres suplementadas o no suplementadas con Se se presentan en el Cuadro 5. Las concentraciones más altas se observaron a los días 30 y 45 de lactancia ($P < 0.05$) a diferencia de los valores alcanzados a los 15 días de nacimiento. Los corderos de madres que no fueron suplementadas con Se mostraron un comportamiento similar de niveles de Se en sangre respecto al periodo de evaluación, observándose diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($P < 0.01$), (Cuadro 5).

Cuadro 4. Concentración de Selenio (mg kg^{-1}) en sangre de ovejas con y sin suplemento de Selenio.

Table 4. Selenium concentration (mg kg^{-1}) in sheep blood with and without selenium supplementation.

	Niveles de Selenio		
	Promedio	Rango	D.E
n=22	----- mg kg^{-1} -----		
Ovejas no tratadas	0.037 b	0.034	0.01
Ovejas tratadas	0.061 a	0.166	0.038

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Different letters in the same column are indicative of significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$).

Los niveles promedio en sangre de corderos procedentes de madres tratadas fue de 0.054 y de 0.038 mg kg^{-1} en corderos de ovejas sin tratamiento, con diferencia estadísticas significativas ($P < 0.01$). Los resultados obtenidos indican que los niveles de Se en sangre fueron deficientes en el periodo basal (periodo previo a la suplementación), mientras que tras la suplementación los niveles se incrementaron, aunque permaneciendo deficientes durante la gestación y el parto. Sin embargo, en el periodo de lactancia se alcanzaron niveles normales (0.1 mg kg^{-1}) mostrando diferencias estadísticas significativas con respecto al resto de los periodos evaluados. El grupo de animales que no recibió suplementación mostró niveles en sangre deficientes durante todos los periodos evaluados. Los corderos de las ovejas suplementadas con Se mostraron niveles en sangre estadísticamente significativos ($P < 0.01$) respecto a los corderos de madres no tratadas. Los requerimientos dietéticos de Se, son de 0.1 y 0.3 mg kg^{-1} de la materia seca ofrecida por día (NRC, 2007; FDA, 2020); un animal de 45 kg de peso vivo requiere entre 4.17 y 12.42 mg de Se al mes. La administración de Selenito de Sodio a razón de $5 \text{ mg } 100 \text{ kg}^{-1}$ de peso corporal en etapas críticas para las ovejas no incrementó de forma significativa los niveles de Se en sangre; sin embargo, bajo condiciones de deficiencia de Se las ovejas gestantes movilizan niveles importantes de este mineral a los corderos; siendo mayor en ovejas suplementadas, aunque el tratamiento no fue suficiente para que los animales alcanzaran los niveles normales.

Durante la gestación los animales que no adquieren niveles adecuados de Se pueden producir una progenie débil, con afectaciones del tejido muscular esquelético, atrofia y degeneración hepática (Ghaderzadeh *et al.*, 2016). Diferentes estudios indican que durante la gestación el organismo de la madre prioriza el transporte de este mineral al feto, vía transplacentaria, en cantidades variables en dependencia de la disposición de este mineral en el organismo gestante. Es frecuente observar una disminución de los niveles plasmáticos de Se materno, en la medida que avanza la gestación (Hefnawy, Lopez, Revilla, Ramirez y Tortora, 2007). Los corderos de pocos días de nacidos obtienen el Se mediante el calostro y la leche materna, por lo que la disminución del aporte de Se en esta etapa puede deberse a factores tales como: la época de nacimiento, velocidad de crecimiento, incremento de la actividad muscular, baja o escasa suplementación con Se y

Cuadro 5. Niveles de Selenio (mg kg⁻¹) en sangre de corderos provenientes de madres suplementadas y no tratadas, durante el nacimiento y el destete.**Table 5. Selenium levels (mg kg⁻¹) in blood of lambs from mothers with supplementation and without it, during birth and weaning.**

Parámetros		Niveles de Selenio				
		Promedio	Rango	D.E	Min	Max
Madres suplementadas con Se	n=15	----- mg kg ⁻¹ -----				
	Nacimiento	0.05982 a	0.049	0.013	0.038	0.087
	15 días	0.03992 b	0.020	0.006	0.029	0.049
	30 días	0.05685 a	0.025	0.009	0.045	0.07
	45 días	0.05743 a	0.031	0.009	0.045	0.076
Madres no suplementadas con Se	Nacimiento	0.04002 a	0.030	0.009	0.028	0.058
	15 días	0.03319 b	0.028	0.008	0.019	0.047
	30 días	0.04092 a	0.020	0.004	0.03	0.050
	45 días	0.03882 a	0.016	0.005	0.032	0.049

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Different letters in the same column are indicative of significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$).

condiciones climáticas adversas. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se considera que el suministro de Se en el estadio final de la gestación constituye un factor elemental para la transferencia del mineral a los corderos durante la lactación. En corderos los niveles más bajos de Se se han encontrado en el rango de edad de 31 a 45 días, observándose mediante estudios histopatológicos lesiones en el corazón y músculo esquelético, con distrófia muscular en diversos grados de severidad. Estos hallazgos sugieren la presentación de miopatía de tipo congénita, nutricional y tardía en los corderos con deficiencias de Se (Vázquez-Armijo *et al.*, 2011).

Niveles de IgG en Ovejas en Etapas de Gestación, Parto y Lactancia, así como en Corderos.

Los niveles de anticuerpos IgG fueron estimados en suero sanguíneo de ovejas tratadas con Se observándose los valores más elevados en los meses de enero, febrero y mayo >12.0 mg mL⁻¹; sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), (Cuadro 6).

Los niveles promedios de IgG fueron mayores en el grupo de ovejas suplementadas con Se en comparación con el grupo control negativo, pero no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$). La mayor concentración de IgG en ovejas no suplementadas fue observada en el periodo de

lactancia > 12.0 mg mL⁻¹, no observándose diferencias estadísticas significativas con el resto de los grupos ($P > 0.05$), (Cuadro 7).

La concentración de IgG en suero sanguíneo de corderos provenientes de madres suplementadas con Se, mostraron los valores más altos al nacimiento y a los 45 días, observándose en estos dos grupos diferencias estadísticamente significativas con el resto de las etapas ($P < 0.05$). Las concentraciones de IgG en corderos de madres no tratadas tuvieron un comportamiento similar en cuanto a las etapas; sin embargo, en contraste con el grupo anterior los niveles son ligeramente bajos en todos los promedios ($P < 0.05$), (Cuadro 8).

Las concentraciones promedio de IgG en los corderos provenientes de ovejas tratadas fueron de 11.61 mg mL⁻¹ y de 11.43 en corderos de ovejas no tratadas, sin embargo no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$).

Los resultados generales del análisis de correlación efectuados entre las variables evaluadas (niveles de Se y concentración de IgG) no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$) observándose para ovejas sin tratamiento un $r = 0.5527$ para ovejas con tratamiento un $r = 0.1429$, para corderos procedentes de ovejas sin tratamiento un $r = 0.3439$ y para corderos procedentes de madres con tratamiento $r = 0.5985$.

En cuanto a la correlación en ovejas suplementadas y sus corderos se obtuvo $r = 0.4195$ ($P > 0.05$) y en las

Cuadro 6. Concentración de IgG (mg mL⁻¹) en ovejas con y sin Selenio, como suplemento durante los meses de gestación, parto y lactancia.**Table 6. IgG concentration (mg mL⁻¹) in sheep with Selenium supplementation and without it, during gestation, birth and lactation months.**

Concentración de IgG totales										
Ovejas suplementadas con Selenio						Ovejas no suplementadas con Selenio				
n=11	mg mL ⁻¹									
Meses	Promedio	Rango	D.E	Min	Max	Promedio	Rango	D.E	Min	Max
Septiembre	11.69 ab	1.24	0.43	10.98	12.22	11.83 a	1.92	0.47	10.98	12.9
Octubre	11.87 ab	0.83	0.24	11.39	12.22	12.10 a	1.51	0.4	11.39	12.9
Diciembre	11.44 a	1.6	0.53	10.68	12.28	11.79 a	1.26	0.4	11.33	12.59
Enero	12.41 a	0.79	0.24	12.06	12.85	11.95 a	1.09	0.36	11.5	12.59
Febrero	12.16 ab	1.55	0.52	11.5	13.05	11.59 a	1.69	0.45	11.8	12.49
Marzo	11.86 ab	0.82	0.27	11.56	12.38	11.79 a	1.21	0.41	11.28	12.49
Abril1	11.95 ab	0.94	0.32	11.45	12.39	11.80 a	0.56	0.21	11.5	12.06
Abril2	11.86 ab	1.16	0.31	11.33	12.49	12.07 a	0.99	0.32	11.5	12.49
Mayo	12.34 a	0.69	0.22	12.01	12.7	12.34 a	1.58	0.44	11.27	12.85

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Different letters in the same column are indicative of significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$).

ovejas no suplementadas y sus corderos tampoco se observó un nivel de significancia ($P > 0.05$) $r = 0.6603$.

Aunque los niveles de IgG (mg mL⁻¹) en suero de ovejas y corderos no derivaron en diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre animales suplementados y los animales control, numéricamente siempre fueron mayores en el suero de ovejas y corderos suplementados con Se, en ovejas sobre todo durante la gestación y lactancia. Existen trabajos que demuestran que la deficiencia de Se en ovejas conlleva a la transferencia de escasos niveles de IgG al cordero, estando más vulnerables al desarrollo de diversas enfermedades (Stewart *et al.*, 2012; Hall *et al.*, 2013a; Hall *et al.*, 2014). La inmunoglobulina IgG constituye uno de los principales efectores de la inmunidad humoral, con participación en mecanismos de eliminación de patógenos mediante opsonización y activación del sistema del complemento (Tizard, 2009). Se han intensificado los estudios de inmunonutrición para influir de manera positiva en el sistema inmunidad y lograr mayor resistencia a las enfermedades mediante una dieta adecuada y balanceada (Hall *et al.*, 2013a). La FDA (Food and Drug Administration) propone la cantidad de Se como suplemento dietético, a razón de 0.3 mg kg⁻¹ en la ración diaria. Diversos estudios se han enfocado en evaluar si la suplementación con

niveles de Se por encima de los recomendados, puede modular de manera favorable la respuesta inmune para inducir mejoras en la recuperación de un proceso de enfermedad (Eun *et al.*, 2013; Zhou, Huang y Lei, 2013). Algunos productores de alimentos agropecuarios han incorporado pequeñas concentraciones de Se (0.1 mg kg⁻¹) en los piensos industriales destinados a la alimentación de rumiantes (Carbajal, Aquí y Díaz, 2013), para favorecer este mineral en las dietas.

Los resultados alcanzados en nuestro trabajo indican que la dosis de Se recomendada por el fabricante (5 mg mL⁻¹ de Se por cada 100 kg) no aporta de manera significativa un incremento en los niveles de Se en sangre de ovejas. La aplicación de dosis elevadas de selenito de bario en ovejas gestantes permitió alcanzar niveles cuatro veces mayores a los obtenidos en el grupo control, aunque el peso de los corderos al nacer y la ganancia de peso, no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los grupos control y grupo bajo tratamiento (Humann-Ziehank *et al.*, 2013). La concentración de Se en sangre disminuye durante los periodos de preñez y lactancia, por lo que la suplementación en estas etapas es fundamental. La ganancia en peso por año se ha establecido en 2.4 kg, siendo mayor con respecto al grupo control, pero no se favorece el peso al destete (Khanal y Knight, 2010).

Cuadro 7. Valores promedio de la concentración de IgG (mg mL⁻¹) en ovejas con y sin Selenio, como suplemento durante la gestación, parto y lactancia.**Table 7. Average values of IgG concentration (mg mL⁻¹) in sheep with selenium supplementation and without it, during gestation, birth and lactation months.**

Parámetros	Periodo	Concentraciones de IgG				
		Promedio	Rango	D.E	Mín	Máx
Ovejas suplementadas con Se	n=11	----- mg mL ⁻¹ -----				
	Basal	11.78 a	1.24	0.363	10.98	12.22
	Gestación	12.01 a	2.37	0.612	10.68	13.05
	Parto	11.86 a	0.82	0.277	11.56	12.38
	Lactancia	12.05 a	1.37	0.35	11.33	12.7
	Basal	11.97 a	1.92	0.466	10.98	12.9
	Gestación	11.78 a	1.79	0.433	10.08	12.59
	Parto	11.79 a	1.21	0.418	11.28	12.49
Ovejas no suplementadas con Se	Lactancia	11.97 a	1.58	0.752	11.27	12.85

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).Different letters in the same column are indicative of significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$).

La adición de selenito de sodio (0.30 mg kg⁻¹) y levadura enriquecida con Se orgánico (0.30 mg kg⁻¹ y 0.45 mg kg⁻¹) al alimento de corderos, se ha visto que aumenta significativamente los niveles de Se en el tejido muscular, sobre todo en el grupo suplementado con Se orgánico proveniente de levaduras (Vignola *et al.*, 2009). En otro trabajo la aplicación de Sevit. E en conjunto con un tratamiento antihelmíntico, permitió una ganancia de peso de 5.48 kg, siendo un 17.35% más

que en el grupo control (Alimohamady *et al.*, 2013). Otros estudios se han enfocado en las mejoras de las características de la carne de corderos, asociado a la suplementación con Se (Ripoll, Joy y Muñoz, 2011).

La deficiencia de Se se relaciona de manera directa con disminución de la actividad de la enzima GSH-Px, la cual garantiza el equilibrio de los peróxidos a nivel plasmático. El estrés oxidativo ocasionado por el exceso de peróxidos en el organismo causa daño en los

Cuadro 8. Concentración de IgG (mg mL⁻¹) en suero de corderos provenientes de madres suplementadas o no con Selenio.**Table 8. IgG levels (mg mL⁻¹) in serum samples of lambs from sheep with selenium supplementation and without it.**

Parámetros	Etapa.	Concentración de IgG				
		Promedio	Rango	D.E	Mín	Máx
Corderos de madres no suplementadas con Se	n=15	----- mg mL ⁻¹ -----				
	Nacimiento.	11.78 a	2.5	0.79	10.3	12.8
	15 días	11.06 b	1.76	0.53	10.3	12.06
	30 días	10.84 b	0.84	0.3	10.43	11.27
	45 días	12.02 a	1.77	0.59	10.98	12.75
	Nacimiento.	12.43 a	1.56	0.42	11.39	12.95
	15 días	11.04 b	1.76	0.5	10.36	12.12
	30 días	10.89 b	0.84	0.27	10.43	11.27
Corderos de madres suplementadas con Se	45 días	12.08 a	1.41	0.42	11.39	12.8

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).Different letters in the same column are indicative of significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$).

endotelios capilares, eritrocitos y células plasmáticas; lo que se ha relacionado con disminución de producción de anticuerpos y destrucción de linfocitos (Turner, Weiner y Taylor, 1998). La falta de este micromineral pudo llegar a inducir un estado de inmunosupresión; con disminución de la respuesta inmune humoral, alteración en la producción de citocinas (Qin, Gao y Huang, 2007) y afectaciones del sistema inmune innato (Hall *et al.*, 2013a). También puede afectar la capacidad de los animales para responder ante el desafío con diferentes tipos de antígenos, debido al efecto depresivo en la síntesis de anticuerpos neutralizantes (Hoffmann, 2007; Hall *et al.*, 2013a; Hall *et al.*, 2013b). En el estudio realizado por Hall *et al.* (2013b), la suplementación con Se (24.5 mg Se kg⁻¹) en niveles superiores a los recomendados por la FDA (Food and Drug Administration) permitió evidenciar cambios favorables en el crecimiento de los corderos y en el estado de salud de las ovejas en comparación con los grupos controles. Si bien en este trabajo la suplementación de Se no previno la infección con *Dichelobacter nodosus*, en ovinos estabulados y en pastoreo, si se mostraron evidencias de un aumento en la respuesta inmune innata y humoral.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que, en los municipios de San Felipe del Progreso, Estado de México existen suelos y pastos deficientes en Selenio que afectan los niveles de este micromineral en los ovinos que se producen bajo sistemas de pastoreo sin suplementación en la dieta. Por otra parte, el selenito de sodio suplementado a razón de 5 mg mL⁻¹ por 100 kg de peso no fue suficiente para que los animales evaluados alcanzaran de manera constante los niveles de Se recomendados a lo largo de los periodos evaluados. El Se es un nutriente de valor significativo en la ovinocultura mexiquense, por tal motivo, es recomendable generar más investigación relacionada con la importancia que tiene la suplementación de microminerales en la eficiencia de las unidades de producción ovina operadas bajo sistemas de pastoreo.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

Las muestras de sueros fueron tomadas con el consentimiento informado de los propietarios y con

la aprobación del Comité de Bienestar Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAEM.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos están disponibles previa solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores expresan que no hay ningún conflicto de interés.

FONDOS

El presente proyecto fue financiado parcialmente por la Universidad Autónoma del Estado de México a través de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Análisis de los resultados e integración del artículo: SDZ. Líder del proyecto, planeación del proyecto, análisis de los resultados e integración del artículo: RMJ. Generación de los resultados e integración del artículo: MCRD.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo financiero parcial para la realización de los estudios.

LITERATURA CITADA

- Alhidary, I. A., Abdelrahman, M. M., Khan, R. U. & Haroon, R. M. (2016). Antioxidant status and immune responses of growing camels supplemented a long-acting multi-trace minerals rumen bolus. *Italian Journal of Animal Science*, 15(2), 343–349. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1186502>
- Alimohamady, R., Aliarabi, H., Bahari, A. & Dezfoulan, A. H. (2013). Influence of different amounts and sources of selenium supplementation on performance, some blood parameters,

- and nutrient digestibility in lambs. *Biological Trace Element Research*, 154(1), 45-54.
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy metals in soils*. Blackie Academic & Professional (2nd ed). Kingsbridge, United Kingdom: Springer.
- Burk, R. F., & Hill, K. E. (2009). Selenoprotein P-expression, functions, and roles in mammals. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1790(11), 1441-1447. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2009.03.026>
- Cabrera-Torres, E. J., Sosa-Rubio, E. E., Castellanos-Ruelas, A. F., Gutiérrez-Baeza, A. O., & Ramírez-Silva, J. H. (2009). Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México. *Veterinaria México*, 40(2), 167-179.
- Cannon, R. M., & Roe, R. T. (1982). *Livestock Disease Surveys: a field manual for veterinarians*. Queanbeyan, Australia: Australian Government Publishing Service. ISBN: 0-644-02101-2.
- Carbajal-Hermosillo, M., A., Aquí-Quintero, G., & Díaz Gutiérrez, C. (2013). Uso de selenio en ovinos. *Abanico Veterinario*, 3(1), 44-54.
- Carrillo-Nieto, O., Domínguez-Vara, I. A., Huerta-Bravo, M., Jaramillo-Escutia, G., Díaz-Zarco, S., Vázquez-Armijo, J. F., Revilla-Vázquez, A. (2018). GSX-Px activity, selenium concentration and semen quality on rams supplemented with selenium during reproduction stage. *Agrociencia* 52(6): 827-839.
- Ceballos, A., & Wittwer, F. G. (1996). Metabolismo del Selenio en rumiantes. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 28(2) 5-18.
- Domínguez-Vara I. A., & Huerta-Bravo, M. (2008). Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42(2) 173-183.
- Eun, J.S., Davis, T. Z., Vera, J. M., Miller, D. N., Panter, K. E., & ZoBell, D. R. (2013). Addition of high concentration of inorganic selenium in orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) hay diet does not interfere with microbial fermentation in mixed ruminal microorganisms in continuous cultures. *The Professional Animal Scientist*, 29(1), 39- 45. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30193-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30193-5)
- Edwards, W. C., & Blackburn, T. A. (1986). Selenium determination by Zeeman atomic absorption spectrophotometry. *Veterinary and human toxicology (USA)*, 28,12-13.
- FAO. (Food and Agriculture Organization of The United Nations). (2018). Perspectivas alimentarias, Resúmenes de mercado 2018. Consultado el 09 de enero, 2020, desde <http://www.fao.org/home/es/>
- FDA (Food and Drug Administration). (2020). Food additive status list. Consultado el 09 de enero, 2020, desde <http://www.fda.gov/food/food-additives-petitions/food-additives-status-list>.
- Ferguson, L. R., & Karunasinghe, N. (2011). Nutrigenetics, nutrigenomics, and selenium. *Frontiers in genetics*, 25, 2-15. <https://doi.org/10.3389/fgene.2011.00015>
- Ghaderzadeh, S., Aghjeh-Gheshlagh, F. M., Nikbin, S. & Navidshad, B. (2016). A Review on Properties of Selenium in Animal Nutrition. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 6(4), 753-761.
- Gresáková, L., Cobanová, K., & Faix, S. (2013). Selenium retention in lambs fed diets supplemented with selenium from inorganic or organic sources. *Small Ruminant Research*, 111(1-3) 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.10.009>
- Hall, J. A., Van Saun, R. J., Nichols, T., Mosher, W., & Pirelli, G. (2009). Comparison of selenium status in sheep after short-term exposure to high-selenium- fertilized forage or mineral supplement. *Small Ruminant Research*, 82(1), 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.01.010>
- Hall, J. A., Van Saun, R. J., Bobe, G., Stewart, W. C., Vorachek, W. R., Mosher, W. D., ... Pirelli, G. J. (2012). Organic and inorganic selenium: I. Oral bioavailability in ewes. *Journal of Animal Science*, 90(2), 568-576. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4075>
- Hall, J. A., Vorachek, W. R., Stewart, W. C., Gorman, M. E., Mosher, W. D., Pirelli, G. J., Bobe, G. (2013a). Selenium supplementation restores innate and humoral immune responses in footrot-affected sheep. *PLoS One* 8(12) 82-91. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082572>
- Hall, J. A., Bobe, G., Vorachek, W. R., Hujeriletu., Gorman, M. E., Mosher, W. D., & Pirelli, G. J. (2013b). Effects of feeding selenium-enriched alfalfa hay on immunity and health of weaned beef calves. *Biological Trace Element Research*, 156(1), 96-110.
- Hall, J. A., Bobe, G., Vorachek, W. R., Estill, C. T., Mosher W. D., Pirelli, G. J., & Gamroth, M. (2014). Effect of supranutritional maternal and colostral selenium supplementation on passive absorption of immunoglobulin G in selenium-replete dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 97(1), 4379-4391. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7481>
- Hefnawy, A. E., Lopez-Arrellano, R., Revilla-Vázquez, A., Ramirez-Bribiesca, E., & Tórtora-Perez, J. (2007). The relationship between fetal and maternal selenium concentrations in sheep and goats. *Small Ruminant Research*, 73(1), 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.01.020>
- Hefnawy, A. E., & Tórtora-Pérez, J. (2008). Selenio y salud animal, importancia, deficiencia, suplementación y toxicidad. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar, Umuarama*, 11(2), 153-165.
- Hoffmann, P. R. (2007). Mechanisms by which selenium influences immune responses. *Archivum immunologiae et therapiae experimentalis* 55(5) 289-297.
- Humann-Ziehank, E., Renko, K., Mueller, A. S., Roehrig, P., Wolfen, J., & Ganter, M. (2013). Comparing functional metabolic effects of marginal and sufficient selenium supply in sheep. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 27(4) 380-390. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2013.03.003>
- Khanal, D. R., & Knight, A. P. (2010). Selenium: its role in livestock health and productivity. *Journal of Agriculture and Environment*, 11, 101-106. <https://doi.org/10.3126/aej.v11i0.3657>
- Kumar, P., Yadav, B., & Yadav, S. (2013). Effect of zinc and selenium supplementation on antioxidative status of seminal plasma and testosterone, T₄ and T₃ level in goat blood serum. *Journal of Applied Animal Research* 41(4), 382-386. <https://doi.org/10.1080/09712119.2013.783482>
- Langlands, J. P., Donald, G. E., Bowles, J. E., & Smith, A. J. (1994). Selenium supplements for grazing sheep 4. The use of intraruminal pellets containing elevated quantities of selenium. *Animal Feed Science and Technology*, 46(1-2), 109-118. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90069-8](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90069-8)
- Mahan, D. C., & Shields, R. G. (1998). Macro and micromineral composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight. *Journal of Animal Science*, 76(2), 506-512.

- Mahmoud, G. B. (2013). Sexual behaviour, testosterone concentration, semen characteristics and testes size of Ossimi rams as affected by age and scrotal circumference. *Egyptian Journal of Animal Production* 50(2) 53-58.
- Márquez-Madrid, M., Gutiérrez-Bañuelos, H., Bañuelos-Valenzuela, R., Muro-Reyes, A., & Valdez-Cepeda, R. D. (2017). Macro-mineral concentrations in soil and forage in three grassland sites at Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8(4): 437-443.
- Mehdi, Y., Hornick, J. L., Istasse, L., & Dufrasne, I. (2013). Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecule* 18(3) 3292-3311. <https://doi.org/10.3390/molecules18033292>
- Morales-Almaraz, E., Domínguez-Vara, I., González-Ronquillo, M., Jaramillo-Escutia, G., Castellán-Ortega, O., Pescador-Salas, N., & Huerta-Bravo, M. (2007). Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. *Técnica Pecuaria México* 45(3): 329-344.
- Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Lara-Bueno, A., Rangel-Santos, R., & Arana-De la Rosa, J. L. (2016). Producción y calidad nutricional de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(spe16), 3315-3327.
- NRC (National Research Council). (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Washington, DC, USA: National Academy Press.
- Paglia, D. E., & Valentine, W. N. (1967). Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. *The Journal of laboratory and clinical medicine*, 70(1), 158-69. <https://doi.org/10.5555/uri:pii:0022214367900765>
- Qin, S., Gao, J. & Huang, K. (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(1), 91-102.
- Ramírez-Briebesca, J. E., Hernández-Camacho, E., Hernández-Calva, L. M. & Tórtora-Pérez, J. L. (2004). Effect of parenteral supplement with sodium selenite on lamb mortality and hematic values of selenium. *Agrociencia*, 38(1), 43-51.
- Ramírez-Briebesca, J. E., Tórtora, J. L., Huerta, M., Hernández, L. M., López, R., & Crosby, M. M. (2005). Effect of selenium-vitamin E injection in selenium-deficient dairy goats and kids on the Mexican plateau. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 57, 77-84.
- Revilla-Vázquez A., Ramírez-Briebesca, E., López-Arellano, R., Hernández-Calva, M., Tórtora-Pérez, J., García-García, E., & Cruz-Monterrosa, R. G. (2008). Suplemento de Selenio con bolos intrarruminales de selenito de sodio en ovinos. *Agrociencia* 42(6) 629-635.
- Ripoll, G., Joy, M., & Muñoz, F., (2011). Use of dietary vitamin E and selenium (Se) to increase the shelf life of modified atmosphere packaged light lamb meat. *Meat Science*. 87(1), 88-93. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.09.008>
- Souza-Silva, C. M., Nunes-de Medeiros, A., Germano-Costa, R., Pereira-Sales, E., de Azevêdo-Silva, A. M., & de Lima-Júnior, V. (2013). Micromineral nutritional requirements for weight gain in Canindé goats under grazing in the Brazilian semiarid. *Acta Scientiarum*, 35(2), 173-179. <https://doi.org/10.4025/actascianims.v35i2.16731>
- Stewart, W. C., Bobe, G., Vorachek, W. R., Pirelli, G. J., Mosher, W. D., Nichols, T., ... Hall, J. A. (2012). Organic and inorganic selenium: II. Transfer efficiency from ewes to lambs. *Journal of Animal Science*, 90(2), 577-584.
- Tizard, I. R. (2009). *Introducción a la Inmunología Veterinaria*. (8ª ed). Barcelona, España: Elsevier. ISBN: 978-1-4160-4989-0
- Turner, R. J., Weiner, J. H., & Taylor, D. E. (1998). Selenium metabolism in *Escherichia coli*. *Biometals*, 11(3), 223-227.
- Turriza-Chan, J. L., Castellanos-Ruelas, A. F., Rosado-Rubio, J. G., Heredia-Aguilar M., & Cabrera-Torres, E. (2010). Diagnóstico de la concentración mineral en tejido óseo de ovinos en pastoreo en el Estado de Yucatán, México. *Agrociencia*, 44(4), 471-480.
- Udo de Haes, H. A., Voortman, R. L., Bastein, T., Bussink, D.W., Rougoor, C. W., & van der Weijden W. J. (2012). Deficiencies in soil and in food. In: C. Frink. (Ed.). *Scarcity of micronutrients in soil, feed, food, and mineral reserves* (pp. 15-22). Netherlands: Platform for Agriculture, Innovation & Society.
- Vázquez-Armijo, J. F., Rojo, R., García, R. M., López, D., Salem, A. F. Z., Domínguez, I. A., ... Tinoco, J. L. (2011). Effect of season on serum copper and zinc concentrations in crossbred goats having different reproductive status under semiarid rangeland conditions in Southern Mexico State. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 331 – 335.
- Vignola, G., Lambertini, L., Mazzone, G., Giammarco, M., Tassinari, M., & Martelli, G. (2009). Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science*, 81(4), 678-685. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.11.009>
- Vivas-Maya, E. F., Rosado-Rubio, J. G., Castellanos-Ruelas, A. F., Heredia-Aguilar, M., & Cabrera-Torres, E. J. (2011). Contenido mineral en forrajes en predios de ovinocultores del Estado de Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(4), 465-475.
- Zhou, J., Huang, K., & Lei, X. G. (2013). Selenium and diabetes-evidence from animal studies. *Free Radical Biology and Medicine*, 65, 1548-1556. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.012>
- Zoidis, E., Seremelis, I., Kontopoulos, N., & Danezis, G. P. (2018). Selenium-Dependent Antioxidant Enzymes: Actions and Properties of Selenoproteins. *Antioxidants*, 7(5), 66. <https://doi.org/10.3390/antiox7050066>