

Micro minerals in the liver of *Ovis canadensis mexicana* Merriam and *Odocoileus hemionus eremicus* Mearns in Sonora, Mexico

Micro minerales en hígado de *Ovis canadensis mexicana* Merriam, y *Odocoileus hemionus eremicus* Mearns en Sonora, México

Olmos-Oropeza, Genaro¹; Espinosa-Reyes, Guillermo²; Gastelum-Mendoza, Fernando I.¹; Tarango-Arámbula, Luis A.¹; Ugalde-Lezama, Saúl³ y Martínez-Montoya Juan F.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Postgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Iturbide 73, Colonia Centro, Salinas de Hidalgo, S.L.P. CP 78620. ²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud (CIAAS), Facultad de Medicina. Av. Sierra Leona #550 Col. Lomas 2a. Sección San Luis Potosí, S.L.P., México CP 78210. ³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. Km 38, Carretera México- Texcoco, Chapingo, Estado de México, CP 56230.

*Autor de correspondencia. fmontoya@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: to determine concentrations of Fe, Cu, Zn, Se, Mn, Co and Cr in the liver as indicators of deficiencies/excesses in bighorn sheep (BC) (*Ovis canadensis mexicana*) and mule deer (VB) (*Odocoileus hemionus eremicus*).

Design/methodology/approach: liver samples were taken from three specimens of bighorn sheep (BC) and five specimens of mule deer (VB). The micro-minerals were determined on an inductively coupled quadrupole plasma mass spectrometer (ICP-MS) and the analyzes were validated using a reference sample.

Results: in BC the average contents of Fe, Cu, Zn, Se, Mn, and Cr were 114.8, 60.9, 63.8, 1.1, 2.6, and 0.15 mg kg⁻¹ and in VB were of 183.9, 28.9, 44.6, 1.2, 2.6, and 0.17 mg kg⁻¹, respectively, and are within the ranges considered as suitable for healthy animals. However, one BC and two BV had Cu deficiencies and 60% of the Zn VB. The Co contents in BC and VB were 14.6 and 12.3% lower as the adequate level.

Limitations on study/implications: the sample size was relatively small and only of adult males. The results may not be representative of the BC and VB population.

Findings/conclusions: in BC the Fe, Zn, Se and Mn contents were adequate and the Cu was partially adequate, in a BC was deficient. In VB, the Fe, Se and Mn contents indicate that there are no deficiencies. The Cu and Zn contents were partially adequate since 40 and 60% of the VB showed deficiencies. The Co was deficient in both species.

Keywords: diagnosis; microelements; deficiencies, bighorn sheep, mule deer.



RESUMEN

Objetivo: determinar la concentración de Fe, Cu, Zn, Se, Mn, Co y Cr en hígado como indicadores de deficiencias/excesos en borrego cimarrón (BC) (*Ovis canadensis mexicana*) y venado bura (VB) (*Odocoileus hemionus eremicus*).

Diseño/metodología/aproximación: Se tomaron muestras de hígado de tres ejemplares de BC y de cinco de VB. Los micro-minerales se determinaron en espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente cuadrupolo (ICP-MS) y los análisis se validaron utilizando una muestra de referencia.

Resultados: en BC los contenidos promedio de Fe, Cu, Zn, Se, Mn y Cr fueron de 114.8, 60.9, 63.8, 1.1, 2.6, y 0.15 mg kg⁻¹ y en VB de 183.9, 28.9, 44.6, 1.2, 2.6, y 0.17 mg kg⁻¹, respectivamente, los cuales son adecuados para animales sanos. Sin embargo, una muestra de BC y dos de VB presentaron deficiencias de Cu, y 60% de los VB de Zn. Asimismo, los contenidos de Co en BC y VB fueron 14.6 y 12.3% inferiores al nivel adecuado.

Limitaciones del estudio/implicaciones: el tamaño de la muestra fue relativamente pequeña y únicamente de machos adultos. Los resultados podrían no ser representativos de la población de BC y VB.

Hallazgos/conclusiones: en BC los contenidos de Fe, Zn, Se y Mn fueron adecuados y el Cu fue parcialmente adecuado, en una muestra fue deficiente. En VB, los contenidos de Fe, Se y Mn fueron adecuados. Los contenidos de Cu y Zn fueron parcialmente adecuados en el 40 y 60% de los VB, donde estuvieron en nivel de deficiencia. El Co fue deficiente en ambas especies.

Palabras clave: diagnóstico; microelementos; deficiencias, borrego cimarrón, venado bura.

El hierro (Fe), yodo (I), cinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), cobalto (Co), molibdeno (Mo), selenio (Se), cromo (Cr), flúor (F) y silicio (Si) son considerados como esenciales (Underwood, 1981; NRC, 2007). En individuos de BC, en vida libre, se han encontrado deficiencias de Se, Cu y Zn (Poppenga *et al.*, 2012), en específico, las deficiencias de Se están asociadas a la disminución de sus poblaciones (Carpenter, 2005). En VB se encontró relación positiva entre concentraciones bajas de Se en sangre y la presencia de piojos (Roug *et al.*, 2016); además, concentraciones bajas de Se en hígado se han asociado con la presencia de la enfermedad del músculo blanco, ocasionando baja producción y supervivencia de cervatos (Fielder, 1986). En México, pese a que hay pocas publicaciones sobre diagnóstico de micro minerales limitantes en ungulados silvestre, en las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre del noroeste de México, hay uso indiscriminado de suplementos minerales.

Una dieta deficiente, desequilibrada o con alta cantidad de un mineral, provoca cambios en la forma o concentración de éste en tejidos y fluidos corporales, hasta alcanzar valores inferiores o superiores a los límites permisibles (Underwood y Suttle, 2003). Al respecto, los contenidos de minerales en hígado son los que reflejan el estado nutricional de los ungulados de forma más objetiva (Roug *et al.*, 2016), por ello, se determinaron las concentraciones de Fe, Cu, Zn, Se, Mn, Co, Cr y B, como indicadores de deficiencias o excesos, en muestras de hígado de borrego cimarrón y de venado bura.

INTRODUCCIÓN

El borrego cimarrón y el venado bura (*Ovis canadensis mexicana* y *Odocoileus hemionus eremicus*) son las especies de fauna silvestre de mayor valor económico en el noroeste de México, sus poblaciones pueden estar afectadas por deficiencias o excesos de microelementos minerales (Flueck, 1994; McKinney *et al.*, 2006), los cuales son esenciales para que los animales lleven a cabo sus funciones fisiológicas vitales en forma adecuada (McDowell, 2003). En zonas áridas, el aporte de minerales por las plantas a los ungulados silvestres es variable, ya que su contenido depende del suelo, de la especie vegetal, de su estado de madurez y del clima (Alvarado *et al.*, 2013). Los desbalances de macro y microminerales en suelo y forraje pueden causar problemas productivos, reproductivos, pobre respuesta inmunológica y baja supervivencia (Wilson y Grace, 2001; McDowell y Arthington, 2005; Chihuailaf *et al.*, 2014).

En ungulados silvestres las deficiencias de micro minerales se asocian a la presencia de enfermedades y pobres parámetros reproductivos (Wolfe *et al.*, 2010). Por ello, la determinación y evaluación de las concentraciones de estos minerales en los tejidos, es importante para diagnosticar las condiciones de salud de las poblaciones de ungulados silvestres (Wolfe *et al.*, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) Rancho Noche Buena, ubicada en el municipio de Hermosillo, Sonora, México (Figura 1). El clima es árido-cálido, con lluvias en verano, la precipitación media anual es de 365.7 mm, la humedad relativa media anual es de 43% y la temperatura media anual de 24.8 °C, con máximas en agosto (48.5 °C) y mínimas en enero (-4 °C) (CONAGUA, 2015). La vegetación está dominada por el matorral desértico micrófilo y matorral sarcocaulé (INEGI, 2013). Las especies arbustivas dominantes son rama blanca (*Encelia farinosa*), sangregado (*Jatropha cardiophylla*), saliciso (*Lycium* sp.) y torote prieto (*Bursera laxiflora*); herbáceas como malvarrosa (*Kosteletzkya malvavizcana*), farolito (*Cardiospermum corindum*), pintapán (*Anoda cristata*) y arbóreas como palo fierro (*Olneya tesota*), palo blanco (*Acacia willardiana*) y torote papelillo (*Bursera microphylla*). La fisiografía, en su mayoría, es plana dedicada a la producción de ganado bovino y venado bura, además cuenta con un área escarpada (5,063 ha) con rangos de altitud que oscilan de 200 a 1060 m, donde habita y se aprovecha el borrego cimarrón (Figura 1).

Durante la temporada de caza de noviembre 2013 a febrero de 2014, se tomaron muestras de hígado, del lóbulo derecho, de tres ejemplares de BC y de cinco de VB,

cazados en varios sitios de la UMA. Las muestras recolectadas se envolvieron en papel aluminio, se colocaron en frascos estériles, se transportaron al laboratorio del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis potosí, en donde se conservaron en congelación a -21 °C hasta su análisis.

Las muestras de hígado se analizaron en la Facultad de Toxicología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. La determinación de metales en hígado se realizó en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente cuadrupolo (ICP-MS) marca Thermo Fisher, Modelo X Series 2. Se utilizó de 0.5 a 1 g de tejido húmedo para realizar una digestión ácida con 5 mL de ácido nítrico (HNO₃) al 50% y 1 mL de peróxido de hidrógeno ultrapuro (H₂O₂) concentrado, las muestras se dejaron pre-digerir durante 24 h a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizó la digestión en un horno de microondas (Mars 6 CEM, vasos Greenchem, 200 °C, 800 psi; 15 min, 1800w). El gas acarreador fue el argón grado cromatográfico. La calibración del equipo se realizó mediante estándares de referencia acuosos multielementales certificados marca HPS de 10 mg L⁻¹, utilizando una curva de calibración de 0.1 mg L⁻¹ aumentando progresivamente hasta 100 mg L⁻¹, además de un estándar interno de 10 ppb de In y Tm. También, se utilizaron muestras control de concentraciones conocidas para verificar que la medición se realizara correctamente,

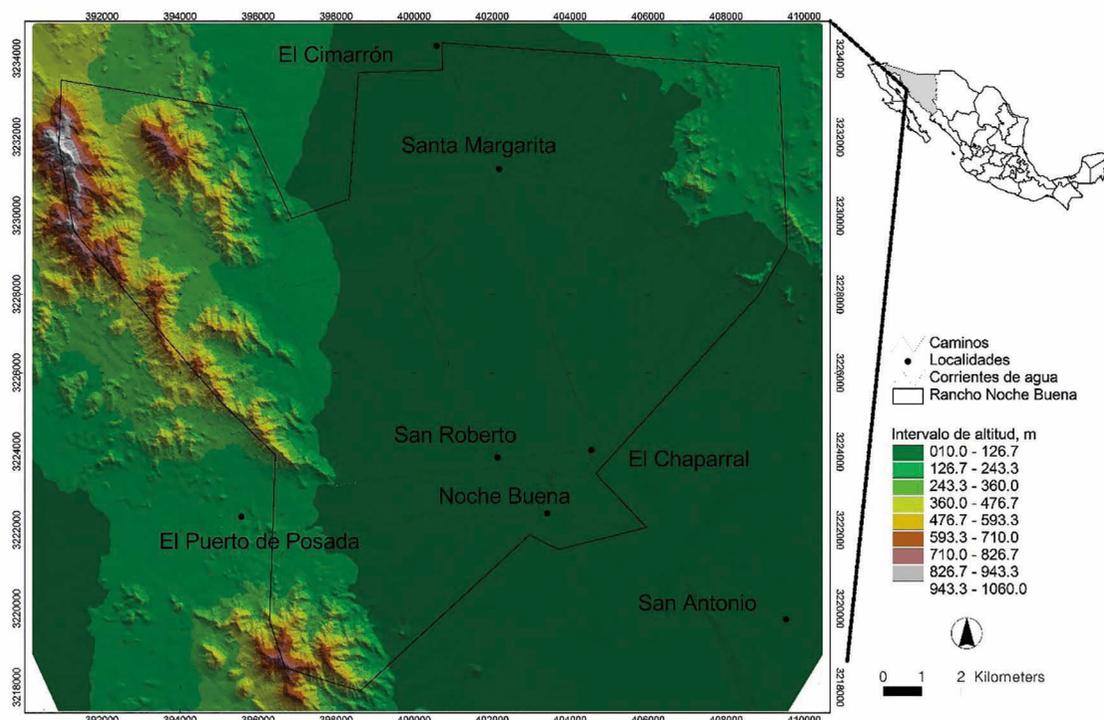


Figura 1. Localización de la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

para incrementar la sensibilidad y detectar bajas cantidades, y su cuantificación, se utilizó agua desionizada y ácidos destilados.

Las muestras de hígado se analizaron por triplicado y los valores se expresaron en partes por billón (ppb) en base húmeda. Para cada especie de ungulado y metal. Se calculó la media, desviación estándar y compararon con los valores considerados como adecuados para ovejas domésticas y ungulados silvestres.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores promedio y mínimos de Fe, Zn, Se, Mn y Cr en hígado de borrego cimarrón (BC) (Cuadro 1) se encuentran dentro del intervalo considerado como normal para ovejas domésticas (Puls, 1998). Dado que no se reportan valores de referencia para BC de estos microelementos, se pueden considerar los reportados para ovejas y cabras domésticas (NRC, 2007). Contrario a lo encontrado en este trabajo, se reportan concentraciones en suero sanguíneo de Fe y Zn inferiores a las concentraciones consideradas como adecuadas para BC en California, USA (Poppenga *et al.*, 2012). A pesar de que las deficiencias de Cu son comunes en venados (Grace y Wilson, 2002), en este trabajo las concentraciones promedio de Cu en hígado estuvieron dentro del rango considerado como adecuado (Puls, 1998).

Sin embargo, en un individuo de BC se encontró una concentración de Cu (9.5 mg kg^{-1}) por debajo de los valores normales establecidos para ovejas domésticas, lo que indica que parte de la población de BC podrían presentar deficiencias de Cu y las cuales es posible se acentúen al final de invierno y principios de primavera en comparación al otoño (Grace y Wilson, 2002) que fue cuando se recolectaron los hígados de BC. En ungulados, concentraciones, en hígado, de Cu inferiores a 20 mg kg^{-1} en base seca se consideran deficientes

y éstas se asocian con anemia, osteocondritis, osteoporosis, rotura de huesos, infertilidad, despigmentación de la piel, pelo y lana, ataxia en animales jóvenes y susceptibilidad mayor a enfermedades (NRC, 2007; Myers *et al.*, 2015); por ello, cuando se suplementa con Cu a venados bajo condiciones deficientes se pueden mejorar las astas (Gambín *et al.*, 2017).

Cabe señalar que en ungulados silvestre como el BC, que habitan en zonas montañosas con rocas de granito y suelos de origen volcánico, se presentan deficiencias de Se (Fordyce, 2005; Poppenga *et al.*, 2012), lo que incrementa la mortalidad de corderos por la enfermedad de musculo blanco (Puls, 1998; Coggins, 2006). Sin embargo, en este trabajo las concentraciones de Se,

Zn, Fe, Mn y Cr se encontraron dentro de los rangos considerados como adecuados, lo que puede incidir en una densidad alta de BC en la UMA Rancho Noche Buena. Sin embargo, sería pertinente cuantificar los contenidos de micro minerales en suelo y en las plantas que conforman la dieta del borrego cimarrón, para relacionar estas concentraciones con las encontradas en hígado del borrego cimarrón.

Las concentraciones de Co en hígado de BC fueron 85% inferiores a las consideradas como adecuadas en ovejas domésticas (Cuadro 1). El Co se almacena principalmente en el hígado (Grace y Wilson, 2002) y aunque

los tejidos del animal no requieren Co, este es necesario para la síntesis de la vitamina B12 por los microorganismos ruminales (NRC, 2007). Las deficiencias de Co se relacionan con consumo de alimento bajo, pérdida de peso, producción de leche baja, ausencia de estro, entre otros (Grace y Wilson, 2002; NRC, 2007). Finalmente, se ha establecido que el BC ha evolucionado y adaptado a ambientes que presentan baja disponibilidad de micro minerales y que sus requerimientos deberían ser diferentes al de los animales domésticos (Robbins *et al.*, 1985).

Cuadro 1. Concentración (base húmeda, mg kg^{-1}) promedio, desviación estándar y rango (entre paréntesis) de micro-minerales en hígado de borrego cimarrón en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

Micro mineral (mg kg^{-1} BH)	Borrego cimarrón (mg kg^{-1})	Puls (1998), mg kg^{-1} *
Fe	114.8 ± 17.583 (95.1-129.0)	30-200
Cu	60.9 ± 71.579 (9.5-142.7)	25-100
Zn	63.779 ± 46.807 (35.0-117.8)	30-75
Se	1.087 ± 0.220 (0.923-1.336)	0.25-1.50
Mn	2.633 ± 0.521 (2.041-3.017)	2.0-4.4
Co	0.044 ± 0.008 (0.036-0.049)	0.30-2.24
Cr	0.146 ± 0.039 (0.102-0.177)	0.10-0.40 **

*Concentraciones de micro-minerales en hígado de ovejas domésticas consideradas como adecuadas

** Concentración de cromo considerada como normales en ganado bovino
BH: base húmeda

Sin embargo, contar con valores de referencia de micro minerales en hígado de BC podría ayudar al monitoreo y manejo nutricional de sus poblaciones (Poppenga et al., 2012).

Las concentraciones promedio de Fe (Cuadro 2) en hígado venado bura (VB) (183.9 mg kg^{-1}) fueron similares a los encontrados en VB enfermos (186 mg kg^{-1} , Sleeman et al., 2010) y 17.7% (Zimmerman et al., 2008) y 20.7% (Sleeman et al., 2010) superiores a los encontrados en animales sanos (Cuadro 2). Además, los valores de este estudio, fueron similares a los encontrados en hígado de gamo, 141 mg kg^{-1} (Vengušt, G., y Vengušt, 2004). Cabe señalar que no se han registrado deficiencias de Fe en ungulados adultos criados en pastoreo (NRC, 2007).

Las concentraciones promedio de Cu (Cuadro 2) en hígado de VB se encuentran dentro de los rangos considerados como normales para ovejas domésticas (Puls, 1998) y similares a las reportadas para VB y venado cola blanca (Pollock y Roger, 2007; Zimmerman et al., 2008; Sleeman et al., 2010). Sin embargo, en el 40% de los ejemplares de VB las concentraciones de Cu se encuentran en niveles deficientes ($<20 \text{ mg kg}^{-1}$) (NRC, 2007). Las concentraciones promedio de Zn en hígado fueron similares a las reportadas en otros estudios y están dentro del rango considerado como adecuado (Puls, 1998; Zimmerman et al., 2008). Sin embargo, 60% de los VB presentaron deficiencias de Zn ($<30 \text{ mg kg}^{-1}$), por lo que es posible que una proporción alta

de la población presente deficiencias de este microelemento. Las deficiencias de Zn en ungulados se han asociado a anorexia, problemas reproductivos, insuficiencia del sistema inmunológico y anomalías en la piel y lana (NRC, 2007).

Los venados, en general, toleran bajas concentraciones de Se, y el rango considerado como adecuado es de $0.25\text{-}0.46 \text{ mg kg}^{-1}$ (Puls, 1998). En este estudio, las concentraciones promedio de Se (Cuadro 2) en hígado de VB fueron 2.6 veces superiores al rango superior considerado como adecuado para venado (Puls, 1998) y superiores a las reportadas por Zimmerman et al. (2008) y Sleeman et al. (2010) para venado bura (0.78 mg kg^{-1}) y venado cola blanca saludable (0.08 mg kg^{-1}), respectivamente.

Las concentraciones promedio de Mn en hígado de VB fueron similares a los reportados por otros autores (Zimmerman et al., 2008; Sleeman et al., 2010). Las concentraciones promedio de Co en hígado de VB fueron inferiores en 12.3% al valor considerado como adecuado para ovejas ($0.30\text{-}2.24 \text{ mg kg}^{-1}$) (Puls, 1998) e inferiores a los registrados para venado bura (Zimmerman et al., 2008), venado cola blanca (Sleeman et al., 2010; Pollock y Roger, 2007) y alce (Pollock y Roger, 2007). Finalmente, el Cr es un micro mineral que se considera esencial para los animales; sin embargo, no existen valores de referencia en hígado de venado ni de sus requerimientos (Puls, 1998).

CONCLUSIONES

En borrego cimarrón, los contenidos de Fe, Zn, Se y Mn en hígado indican que no existen deficiencias ni excesos. El Cu fue parcialmente adecuado ya que en un animal se registró deficiencia de este elemento. En venado bura, los contenidos de Fe, Se y Mn en hígado indicaron que no hay deficiencias ni excesos de éstos. Sin embargo, los contenidos de Cu y Zn se encuentran en niveles parcialmente adecuados, ya que en el 40 y 60%, respectivamente, de los ejemplares de

Cuadro 2. Concentración (base húmeda, mg kg^{-1}) promedio y desviación estándar de micro-minerales en hígado de venado bura de la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

Micro mineral, (mg kg^{-1}) BH	Venado bura	Zimmerman et al., 2008* (mg kg^{-1})	Sleeman et al., 2010** (mg kg^{-1})	
			Enfermos	Saludables
Fe	183.928 ± 70.7 (117.4-262.6)	151.28 ± 10.44	186 ± 75 (82.4-320)	145.7 ± 72.3 (52.1-391)
Cu	28.902 ± 10.3 (18.3-41.8)***	37.55 ± 4.69	26.7 ± 25.8 (2.6-68.6)	27.4 ± 18.3 (2.7-70.9)
Zn	44.587 ± 32.0 (18.6-80.3)	40.56 ± 1.31	78.7 ± 54.9 (37.1-247)	35.8 ± 7.4 (26.4-64.2)
Se	1.226 ± 0.3 (0.856-1.479)	0.78 ± 0.08	0.14 ± 0.14 (0.06-0.61)	0.08 ± 0.03 (0.04-0.18)
Mn	2.635 ± 0.6 (2.015-3.611)	3.04 ± 0.17	3.4 ± 1.1 (1.9-5.8)	3.1 ± 0.6 (2.2-4.4)
Co	0.037 ± 0.001 (0.020-0.047)	0.10 ± 0.01	0.06 ± 0.03 (0.03-0.14)	0.06 ± 0.03 (0.03-0.14)
Cr	0.170 ± 0.02 (0.141-0.197)			

*Concentraciones de micro-minerales en hígado de venado bura.

** Concentraciones de micro-minerales en hígado de venado cola blanca enfermos y saludables.

VB estos minerales estuvieron en niveles de deficiencia. El Co fue deficiente tanto en borrego cimarrón como en vando bura. Con base en estos resultados no se recomienda el uso de selenio, hierro y manganeso en los suplementos minerales para venado bura y borrego cimarrón.

AGRADECIMIENTOS

Al MVZ Roberto Noriega Valdez, propietario de la UMA Rancho Noche Buena, por todas las facilidades prestadas para llevar a cabo este trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, M. D. S., González, R. H., González, R. R. G., Cantú, S. I., Gómez, M. M. V., Cotera, C. M., Jurado, Y. E., & Domínguez-Gómez, T. G. (2013). Trace elements in native shrubs consumed by white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in northeastern México. *Journal of Applied Animal Research*, 41(3), 277-284.
- Carpenter, L. M. (2005). The Role of Trace Nutrients in the Survival of Bighorn Sheep Lambs: Are Current Population Declines Caused by Malnutrition? (Doctoral dissertation, University of Colorado at Denver and Health Sciences Center).
- Chihuailaf, H. R., Stevenson, V. B., Saucedo, C., & Corti, P. (2014). Blood mineral concentrations in the endangered huemul deer (*Hippocamelus bisulcus*) from Chilean Patagonia. *Journal of Wildlife Diseases*, 50(1), 146-149.
- Coggins, V. L. (2006). Selenium supplementation, parasite treatment, and management of bighorn sheep at Lostine River, Oregon. En *Bienn Symp North Wild Sheep Goat Counc* (Vol. 15, pp. 98-106).
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2015). Red de consulta sobre precipitaciones anuales en el estado de Sonora, México. México.
- Fielder, P. C. (1986). Implications of selenium levels in Washington mountain goats, mule deer, and Rocky Mountain elk. *Northwest Science*, 60(1), 15-20.
- Flueck, W. T. (1994). Effect of trace elements on population dynamics: selenium deficiency in free-ranging black-tailed deer. *Ecology*, 75(3), 807-812.
- Fordyce, F. (2005). Selenium deficiency and toxicity in the environment. O. Selinus (Ed.), *Essentials of medical geology*, Academic Press, London. pp. 373-415.
- Gambín, P., Serrano, M. P., Gallego, L., García, A., Cappelli, J., Ceacero, F., & Landete-Castillejos, T. (2017). Does Cu supplementation affect the mechanical and structural properties and mineral content of red deer antler bone tissue? *Animal*, 11(8), 1312-1320.
- Grace, N. D., & Wilson, P. R. (2002). Trace element metabolism, dietary requirements, diagnosis and prevention of deficiencies in deer. *New Zealand Veterinary Journal*, 50(6), 252-259.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2013). Carta de uso del suelo y vegetación 1:250000 Serie V, Hermosillo H12-8. Imagen en formato TIF. Consultada el 13 de abril de 2020. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825573089>
- McDowell, L. R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition* (No. Ed. 2). Elsevier Science BV.
- McDowell, L. R., & Arthington, J. D. (2005). *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Universidad de Florida. IFAS. USA. pp: 6-47.
- McKinney, T., Smith, T. W. & de Vos, J. C Jr. (2006). Evaluation of factors potentially influencing a desert bighorn sheep population. *Wildlife Monogr*, 164:1-36.
- Myers, W. L., Foreyt, W. J., Talcott, P. A., Evermann, J. F., & Chang, W. Y. (2015). Serologic, trace element, and fecal parasite survey of free-ranging, female mule deer (*Odocoileus hemionus*) in eastern Washington, USA. *Journal of Wildlife Diseases*, 51(1), 125-136.
- National Research Council [NRC]. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids*. Washington, DC, USA. National Academy Press. 362 p.
- Poppenga, R. H., Ramsey, J., Gonzales, B. J., & Johnson, C. K. (2012). Reference intervals for mineral concentrations in whole blood and serum of bighorn sheep (*Ovis canadensis*) in California. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 24(3), 531-538.
- Pollock, B., & Roger, E. (2007). Trace element status of moose and white-tailed deer in Nova Scotia. *Alces*, 43, 61-77.
- Puls, R. (1998). *Mineral levels in animal health*. Diagnostic data. Sherpa International.
- Robbins, C. T., Parish, S. M., & Robbins, B. L. (1985). Selenium and glutathione peroxidase activity in mountain goats. *Canadian Journal of Zoology*, 63:1544-1547.
- Roug, A., Swift, P., Puschner, B., Gerstenberg, G., Mertins, J. W., Johnson, C. K., ... & Woods, L. (2016). Exotic pediculosis and hair-loss syndrome in deer (*Odocoileus hemionus*) populations in California. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 28(4), 399-407.
- Sleeman, J. M., Magura, K., Howell, J., Rohm, J., & Murphy, L. A. (2010). Hepatic mineral values of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) from Virginia. *Journal of Wildlife Diseases*, 46(2), 525-531.
- Wilson, P. R., & Grace, N. D. (2001). A review of tissue reference values used to assess the trace element status of farmed red deer (*Cervus elaphus*). *New Zealand Veterinary Journal*, 49, 126-132.
- Wolfe, L. L., Conner, M. M., Bedwell, C. L., Lukacs, P. M., & Miller, M. W. (2010). Select tissue mineral concentrations and chronic wasting disease status in mule deer from North-central Colorado. *Journal of Wildlife Diseases*, 46(3), 1029-1034.
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (2003). *Los minerales en la nutrición del ganado*. Zaragoza, España: Acribia, S.A.
- Underwood, E. J. (1981). *Mineral Nutrition of Livestock*, 2nd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, UK.
- Vengušt, G., & Vengušt, A. (2004). Some minerals as well as trace and toxic elements in livers of fallow deer (*Dama dama*) in Slovenia. *European Journal of Wildlife Research*, 50(2): 59-61.
- Zimmerman, T. J., Jenks, J. A., Leslie Jr, D. M., & Neiger, R. D. (2008). Hepatic minerals of white-tailed and mule deer in the southern Black Hills, South Dakota. *Journal of Wildlife Diseases*, 44(2), 341-350.