

Perfil mineral en agua, suelo, forraje y suero sanguíneo de ovinos en Tlaxcala, México

Mineral profile in water, soil, fodder and sheep blood serum in Tlaxcala, México

Juan Carlos Muñoz-González¹, Maximino Huerta-Bravo^{2*}, Rodolfo Ramírez-Valverde², Mariano Jesús González-Alcorta²

¹Escuela Maya de Estudios Agropecuarios. Universidad Autónoma de Chiapas. Km. 4 carretera Catazajá-Palenque, CP. 29980. Catazajá, Chiapas, México.

²Posgrado en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, CP. 56230. Chapingo, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: maxbravo@correo.chapingo.mx

Artículo científico recibido: 14 de octubre de 2016 aceptado: 18 de febrero de 2017

RESUMEN. El objetivo fue determinar el perfil mineral en muestras de agua, suelo, forraje, alimento concentrado, sales minerales y sangre de 170 ovinos en nueve ranchos del estado de Tlaxcala, México. Los minerales analizados fueron Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P. El modelo estadístico incluyó el efecto del rancho en todas las variables, para la sangre se determinó el efecto de estado fisiológico. Hubo diferencias ($p < 0.05$) entre ranchos en las concentraciones de Mg, Na, K y P en el agua. Los suelos de los ranchos tienen concentraciones diferentes ($p \leq 0.05$) de Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P. Los contenidos de Zn, Mn, Ca, Na y la relación Ca:P fueron mayores ($p < 0.05$) en las leguminosas que en las gramíneas. Las concentraciones séricas de Zn, Ca y P fueron mayores ($p < 0.05$) en los corderos que en las ovejas.

Palabras clave: Agua, corderos, deficiencias minerales, gramíneas, leguminosas, ovejas, suelo

ABSTRACT. The objective was to determine the mineral profile in samples of water, soil, forage, feed concentrate, mineral salts and blood of 170 sheep in nine ranches in the state of Tlaxcala, México. The minerals analyzed were Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K and P. The statistical model included the effect of the ranch on all variables. For the blood the effect of physiological state was determined. There were differences ($p < 0.05$) between ranches in the concentrations of Mg, Na, K and P in the water. The soils of the ranches have different concentrations ($p < 0.05$) of Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K and P. The contents of Zn, Mn, Ca, Na and Ca:P ratio were higher ($p < 0.05$) in legumes than in grasses. Serum concentrations of Zn, Ca and P were higher ($p < 0.05$) in lambs than in sheep.

Key words: Water, lambs, mineral deficiencies, grasses, legumes, sheep, soil

INTRODUCCIÓN

La OCDE-FAO (2011) ha previsto para México un incremento del 36 % en la producción de carne ovina y una disminución de 21 % en las importaciones para el 2020. México tuvo un consumo *per cápita* de carne ovina de 0.7 kg por persona para el 2010, el cual se mantendrá hasta el 2020, como consecuencia de la tasa de crecimiento del 6 % de la población (UN-DESA 2012). De acuerdo al SIAP-SAGARPA (2012) a la par de estos cambios, se prevé un incremento en la demanda de la carne

ovina. Lo anterior significa que se debe poner atención en la productividad de los rebaños para cumplir con las demandas futuras de carne ovina.

La productividad animal puede estar limitada por una baja disponibilidad de nutrientes, presencia de enfermedades o por factores genéticos, los cuales son más aparentes y críticos cuando se tienen deficiencias o desbalances minerales en los animales (Suttle 2010). La importancia biológica de los minerales radica en que el 50 % de los procesos enzimáticos conocidos requieren de la disponibilidad de al menos un mineral (Waldron *et al.*

2009). Dentro de los cuales el cobre (Cu) y el zinc (Zn) tienen una función importante como componentes de enzimas (NRC 2007). Mientras que otros minerales actúan en el sistema inmune del animal, para mantener la integridad estructural de las barreras epiteliales contra las infecciones (Richards *et al.* 2010). Los cuales se obtienen principalmente de los alimentos, por lo que la mejora en el sistema suelo-planta son fundamentales para la nutrición (Zhang *et al.* 2010). Para determinar el estado mineral de los animales se requiere conocer el contenido mineral del agua, en el suelo de donde los alimentos son obtenidos, dietas, fluidos, tejidos y cualquier signo, para establecer las deficiencias de minerales o toxicidades (NRC 2007). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar la concentración mineral del agua, suelo, forraje, alimento concentrado, mezclas minerales y suero sanguíneo de ovinos de nueve ranchos del estado de Tlaxcala, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El muestreo se llevó a cabo en nueve ranchos localizados en los municipios en Calpulalpan, Ixtacuixta, Atlangatepec, Tlaxco, Emiliano Zapata, Huamantla y Cuapixtla, en el estado de Tlaxcala, México, los cuales se ubican entre 19° 28' LN y 97° 57' LO, y entre 18° 55' LN y 97° 29' LO, con altitudes entre 2 300 y 3 500 m. El clima en la zona es templado subhúmedo (Cw), con temperatura media de 10 a 16 °C con lluvias en verano. La precipitación pluvial varía de 500 a 1 000 mm anuales (García 1988).

Ranchos y animales

Los forrajes predominantes en las praderas de los nueve ranchos estudiados fueron residuos de cosecha de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.), avena (*Avena sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), trigo (*Triticum aestivum*) o alfalfa (*Medicago sativa*). Más adelante se reportan los ingredientes para elaboración de concentrados y mezclas utilizadas en cada rancho. Se tomaron muestras de

sangre de 90 ovejas y 80 corderos con cruza de las razas Criolla, Suffolk, Hampshire o Rambouillet, en un sistema de producción semi-intensivo, para la determinación de contenido de minerales.

Muestras de agua

En cada rancho se tomaron por duplicado 500 mL de agua, en botellas de plástico mediante la metodología recomendada por Ramos *et al.* (2003), obteniendo el agua de la fuente donde beben los animales. Adicionalmente, en cada sitio de muestreo se tomó una muestra de agua a la que se le agregó 0.3 mL de ácido nítrico al 50 % v/v por cada 100 mL de agua, para el análisis de Fe. Las muestras se filtraron con papel Whatman® número 542 y se congelaron a -20 °C en frascos de plástico.

Muestras de suelo, forraje, alimento concentrado y mezclas minerales

En cada rancho se tomaron cinco muestras de 500 g de suelo de 0 a 15 cm de profundidad siguiendo la metodología descrita por Aguilar (1987). Se colectaron cinco muestras de forraje de 400 g en cada rancho con la técnica Hand Plucking (Penning 2004) y dos muestras de cada alimento concentrado, mezcla mineral e ingredientes utilizado para fabricar el alimento concentrado. Las muestras de suelo, forraje, alimento concentrado, ingrediente para elaboración del concentrado y mezclas de minerales se secaron a 65 °C por 48 h en una estufa de aire forzado, las muestras secas de suelo y las mezclas minerales se molieron en un mortero y se cernieron en una criba de 1 mm. Mientras que las muestras secas de forraje y alimento concentrado se molieron en un molino marca Wiley de aspás con criba de acero inoxidable de 1 mm de diámetro.

Muestras sangre

En cada rancho se colectaron muestras de sangre de 10 ovejas y 10 corderos, excepto en el rancho cinco donde sólo se tomaron muestras de las ovejas. Las muestras se colectaron por duplicado mediante punción de la vena yugular con agujas calibre 18 y tubos Vacutainer™ de 10 mL sin anticoagulante (Fick *et al.* 1979). Después de dos

horas de reposo, se centrifugaron a 3 000 rpm por 10 min para separar el suero sanguíneo, el cual se congeló a -20 °C hasta el análisis del perfil mineral.

Análisis de laboratorio

En el agua y suero sanguíneo, se determinó el contenido de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P, en tanto que en el suelo además de los minerales antes mencionados se determinó el Mn, y en el forraje, alimento concentrado y en las mezclas minerales se determinó el contenido de Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na y K. La determinación de minerales, con excepción del P se realizó por espectrofotometría de absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin Elmer (Perkin-Elmer 1996), en tanto que la determinación del contenido de P se realizó por colorimetría (Fick *et al.* 1979) en un espectrómetro de luz ultravioleta-visible modelo Lambda 2 Perkin Elmer.

Análisis estadístico

Los datos agua, suelo, forraje, alimento concentrado, ingredientes y mezclas minerales se utilizaron para obtener las medias y compararlas con los requisitos y los niveles máximos tolerables para los ovinos (NRC 2005, NRC 2007, Puls 1988). Para los datos de suero sanguíneo el modelo estadístico consideró los efectos de rancho (R_i) [1, 2, 3...9], los del tipo de animal (T_j) [oveja, cordero], y la interacción (R^*T_{ij}). Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS (2004). La instrucción LSMEANS se usó para obtener las medias por cuadrados mínimos de los efectos principales y las interacciones. Se utilizó la prueba de Tukey (Steel *et al.* 1997) para realizar la comparación de las medias entre ranchos o tipo de animal.

RESULTADOS

Contenido mineral en el agua

Los contenidos de Cu, Fe y Zn en agua no fueron detectables por el espectrofotómetro de absorción atómica. Se obtuvieron rangos en las concentraciones de 4 a 58 mg L⁻¹ de Ca, de 1 a 31 mg L⁻¹ de Mg, de 7 a 46 mg L⁻¹ de Na, de 2 a 16 mg L⁻¹ de K y de 5 a 25 mg L⁻¹ de P. Las medias

fueron de 9, 12, 21, 7 y 14 mg L⁻¹ en las concentraciones de Ca, Mg, Na, K y P, respectivamente.

Contenido mineral en los suelos

Los niveles de Cu en los ranchos uno, tres, seis, y ocho no fueron detectables. Se obtuvieron concentraciones de 2.5 a 10 mg kg⁻¹ de Cu, de 5 a 542 mg kg⁻¹ de Fe, de 1.3 a 27 mg kg⁻¹ de Zn, de 23 a 312 mg kg⁻¹ de Mn, de 232 a 5 688 mg kg⁻¹ de Ca, de 34 a 624 mg kg⁻¹ de Mg, de 25 a 119 mg kg⁻¹ de Na, de 71 a 1 126 mg kg⁻¹ de K y de 141 a 702 mg kg⁻¹ de P. Las medias fueron de 4, 191, 5, 121, 1779, 222, 54, 405 y 274 mg kg⁻¹ en las concentraciones de Cu, Fe, Zn Mn, Ca, Mg, Na, K y P, respectivamente.

Contenido mineral de los forrajes

Las leguminosas tuvieron mayores concentraciones de Zn, Mn, Ca y Na, que las gramíneas. Con concentraciones de 1 a 17 mg kg⁻¹ de Cu, de 40 a 5 238 mg kg⁻¹ de Fe, de 5 a 71 mg kg⁻¹ de Zn, de 12 a 644 mg kg⁻¹ de Mn, de 0.02 a 3 % de Ca, de 0.04 a 1.00 % de Mg, de 0.003 a 0.300 % de Na, de 0.36 a 6.00 % de K y de 0.11 a 0.80 % de P. La concentración media de Cu, Fe, Zn y Mn para los forrajes fue de 9, 620, 26 y 133 mg kg⁻¹ y para Ca, Mg, Na, K y P fue de 0.88, 0.29, 0.07, 2.77 y 0.44 %, respectivamente. La concentración media de Cu, Fe, Zn y Mn de las gramíneas fue de 8.76, 554, 23 y 86 mg kg⁻¹ y para Ca, Mg, Na, K y P fue de 0.57, 0.29, 0.05, 2.54 y 0.43 %, respectivamente. La concentración media de Cu, Fe, Zn y Mn de para las leguminosas fue de 9.72, 675, 29 y 172 mg kg⁻¹ y para el Ca, Mg, Na, K y P fue de 1.14, 0.30, 0.09, 2.97 y 0.46 %, respectivamente.

Contenido mineral de los concentrados

Las concentraciones de Cu y Na fue deficiente en relación con los requisitos de los ovinos en un 18 y 27 % de los concentrados, respectivamente. Las concentraciones de Fe, Zn y Mn estuvieron por arriba de los requisitos de los ovinos en todos los concentrados, sin llegar a los máximos tolerables. El Ca, Mg y P superaron los máximos tolerables en 36, 9 y 63 % de los concentrados, respectivamente.

Tabla 1. Contenido mineral en alimentos concentrados y de ingredientes utilizados como fuentes de energía y proteína para la alimentación de ovinos en ranchos del estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Alimento	Minerales									Rel. Ca:P
		Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P	
		mg kg ⁻¹				%					
Alimento concentrado											
1	Engorda	15.7	398	93	104	0.85	0.24	0.72	0.87	0.79	1.1
2	Concentrado1 ^x	10.3	466	31	44	0.31	0.18	0.19	0.75	0.40	0.8
6	Concentrado2 ^x	21.4	295	225	243	2.34	0.23	0.69	0.68	0.56	4.2
7	Ovejas	16.6	76	53	47	0.42	0.37	0.02	2.37	0.82	0.5
7	Gestación	5.1	278	245	159	2.07	0.41	0.26	1.00	0.61	3.4
7	Lactancia	11.9	417	144	667	2.17	0.32	0.14	0.92	0.72	3.0
7	Iniciador2 ^y	16.7	333	191	219	0.88	1.03	0.28	1.57	0.64	1.3
7	Iniciador3 ^y	11.1	96	73	174	1.06	0.58	0.01	1.43	1.28	0.8
7	Crecimiento	17.2	290	301	300	0.34	0.25	0.95	1.04	0.48	0.7
7	Finalización	12.3	299	243	284	2.23	0.23	0.08	0.94	0.50	4.4
8	Iniciador1 ^y	9.3	228	71	92	0.82	0.47	0.13	1.37	1.01	0.8
Fuentes de proteína											
1	Pollinaza	73.0	1111	57	693	4.24	0.72	0.76	3.17	2.01	2.1
1	Pasta de Soya	18.0	86	58	47	0.50	0.44	0.01	2.52	0.83	0.6
8	Canola	4.0	107	60	65	0.61	0.69	0.01	1.42	1.34	0.4
Fuentes de energía											
1	Chicharrón	2.2	8	29	0.9	0.01	0.01	0.01	0.17	0.12	0.1
1	Cebada	4.0	109	28	25	0.11	0.18	0.04	0.52	0.55	0.2
7	Sorgo	3.0	37	2	16	0.03	0.17	0.01	0.35	0.30	0.1
8	Maíz molido	1.5	31	160	6	0.38	0.11	0.02	0.33	0.29	1.3
Requisitos ⁽¹⁾											
		10	45	35	35	0.30	0.10	0.10	0.50	0.25	2:1
Máximo tolerable ⁽²⁾											
		15	50	300	2000	1.50	0.60	1.60*	2.0	0.60	4:1

^x Alimento proporcionado a los para ovinos adultos en general, ^yAlimento iniciador de diferentes marcas comerciales, ⁽¹⁾Requisitos, con base en las necesidades de los ovinos (NRC 2007), ⁽²⁾Niveles máximos tolerables en la dieta de los ovinos (NRC 2005), *Puls (1988).

Tabla 2. Aporte de minerales de las mezclas minerales utilizadas por ovinos en diferentes estados fisiológicos en ranchos del estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Mezcla mineral	Minerales									Rel. Ca:P
		Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P	
		mg kg ⁻¹				%					
		Aporte por kg de alimento consumido (base seca)									
6	Gestación*	11.30	100	198	108	0.28	0.10	0.16	0.22	0.07	4.07
6	Lactación*	4.80	98	161	59	0.32	0.13	0.16	0.12	0.09	3.37
6	Engorda*	2.60	30	45	55	0.31	0.15	0.26	0.18	0.06	4.85
6	Finalización*	5.00	64	80	104	0.36	0.15	0.20	0.10	0.09	4.25
6	Crecimiento*	5.76	102	88	103	0.33	0.15	0.18	0.10	0.10	3.41
7	Ovinos1**	2.40	178	146	214	0.45	0.16	0.14	0.04	0.02	21.94
8	Ovinos2**	3.08	48	49	22	0.25	0.09	0.26	0.10	0.04	6.94
Requisitos ⁽¹⁾											
		10	45	35	35	0.30	0.10	0.10	0.50	0.25	2:1
Máx. tolerable ⁽²⁾											
		15	500	300	2000	1.50	0.60	1.60	2.00	0.60	4:1

*Se calculó considerando las especificaciones del fabricante (20 kg de mezcla mineral por ton de alimento en base seca, **Se calculó considerando las especificaciones del fabricante para ofrecerse a libre acceso con un consumo de 25 g animal⁻¹ d⁻¹ de mezcla mineral y 1.3 kg de consumo de materia seca, ⁽¹⁾Requisitos, con base en las necesidades de los ovinos (NRC 2007), ⁽²⁾Niveles máximos tolerables en la dieta de los ovinos (NRC 2005), ***Puls (1988).

La relación Ca:P también fue excesiva en el 18 % de los concentrados (Tabla 1).

Contenido mineral de algunos ingredientes utilizados para la alimentación de ovinos

En la Tabla 1 también se presentan las concentraciones de minerales de algunos ingredientes disponibles en los ranchos para elaborar alimento. La pollinaza y la pasta de soya tuvieron las concentraciones mayores de minerales en comparación con las fuentes energéticas.

Contenido mineral en mezclas minerales

En la Tabla 2, se presenta el aporte de minerales de las mezclas utilizadas para la elaboración de alimento (crecimiento, engorda, finalización, gestación y lactación), así como las mezclas proporcionadas a libre acceso en saladeros recomendadas para ovinos en general, debido a que las mezclas carecían de etiqueta del fabricante se les asignó el nombre de Ovinos1 y Ovinos2.

Contenido mineral en suero sanguíneo de ovinos

Las concentraciones de Cu, Fe y Zn en suero sanguíneo fue diferentes entre ranchos ($p < 0.01$). El efecto del tipo de ovino y la interacción del rancho con el tipo de ovino fueron significativos sólo para el contenido de Zn (Tabla 3). El rancho y la interacción de rancho con estado fisiológico del ovino afectaron las concentraciones de Ca, Mg, Na, K y P en el suero sanguíneo ($p < 0.01$). Mientras que las concentraciones de Ca y P fueron afectadas ($p < 0.05$) por el tipo de ovino (Tabla 3).

DISCUSIÓN

Contenido mineral en el agua

Los niveles no detectables de Cu, Fe y Zn significan que no existe riesgo de toxicidad de estos minerales para los animales que beben de las fuentes de agua de los ranchos. En la misma zona de estudio, Muñoz-González et al. (2015) reportan que no pudieron detectar el contenido de Cu, Fe y Zn, pero si reportan niveles mayores de Ca (28 mg L^{-1}), Mg

Tabla 3. Concentración de minerales (mg L^{-1}) en suero sanguíneo de ovinos en el estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Minerales												P ^h			
	Cu ^d		Fe ^b		Zn ^c		Ca ^d		Mg ^e		Na ^f			K ^g		
	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C
1	0.90	0.90	1.12	1.74	0.77	1.09	103	94	22	3307	3125	567	456	110	87	
2	0.79	0.64	2.57	1.95	0.99	1.19	103	106	21	3226	3112	437	374	126	82	
3	0.48	0.46	0.91	1.74	0.85	1.04	113	120	24	3042	3437	405	491	71	109	
4	0.35	0.33	1.95	1.74	0.85	1.17	99	106	22	3241	3193	367	417	78	107	
5	0.66	-	1.12	-	0.77	-	99	-	19	3327	-	379	-	94	-	
6	0.81	0.83	2.98	3.19	1.08	1.06	104	113	26	3449	3377	458	468	69	101	
7	0.81	0.79	1.53	1.53	0.90	0.73	97	102	23	3371	3253	413	381	73	82	
8	0.92	0.61	0.50	0.29	0.71	0.44	111	106	23	3372	3619	401	454	71	84	
9	0.63	0.57	1.12	1.12	0.79	0.93	91	108	21	2909	3041	297	354	81	85	
EEIM**	0.08	0.07	0.36	0.54	0.05	0.07	4.76	3.44	0.75	88.90	75.81	30.25	22.40	5.70	5.20	
Rango	0.80 a 1.50		1.3 a 2.5		0.8 a 2.5		80 a 120		18 a 35		3200 a 3600		150 a 220		45-60 ovejías 60-90 corderos	

^aEfecto: Rancho, $p = 0.0001$; Edad, $p = 0.0529$; Interacción, Rancho*Edad, $p = 0.3547$, ^bEfecto: Rancho, $p = 0.0001$; Edad, $p = 0.7344$; Interacción, Rancho*Edad, $p = 0.8120$, ^cEfecto: Rancho, $p = 0.0001$; Edad, $p = 0.0021$; Interacción, Rancho*Edad, $p = 0.0001$, ^dEfecto: Rancho, $p = 0.0001$; Animal, $p = 0.033$; Interacción, Rancho*Animal, $p = 0.0047$, ^eEfecto: Rancho, $p = 0.0001$; Animal, $p = 0.173$; Interacción, Rancho*Animal, $p = 0.0013$, ^fEfecto: Rancho, $p = 0.0001$; Animal, $p = 0.473$; Interacción, Rancho*Animal, $p = 0.0049$, ^gEfecto: Rancho, $p = 0.0001$; Animal, $p = 0.650$; Interacción, Rancho*Animal, $p = 0.0029$, ^hEfecto: Rancho, $p = 0.0001$; Animal, $p = 0.011$; Interacción, Rancho*Animal, $p = 0.0001$, O = ovejas; C = corderos; ** EEM = error estándar de la media; * Puls (1988).

(18.8 mg L⁻¹), Na (524 mg L⁻¹) y P (29.90 mg L⁻¹), con niveles similares de K (6.9 mg L⁻¹). Mientras que Castillo *et al.* (2013) reportan concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P de 0.2, 0.2, 0.1, 65.8, 22.2, 60.0, 3.0 y 0.1 mg L⁻¹, respectivamente. Los resultados resaltan los niveles elevados de P en el agua los cuales superan hasta 35 veces el nivel máximo tolerable en el agua para rumiantes (Puls 1988), lo que puede deberse a que las tierras agrícolas de la región son fertilizadas con P, que puede llegar por escorrentía a las fuentes de agua donde beben los ovinos, pero también al origen del agua en cada rancho. El aporte elevado de P por el agua, aunado a elevadas concentraciones de P en los forrajes aumenta el riesgo de cálculos urinarios en los animales.

Contenido mineral en suelo

Los niveles mínimos requeridos para el crecimiento de las plantas son de: Cu = 9, Fe = 4.5, Zn = 1.3, Ca = 1500, Mg = 200, Na = 62, K = 200 y P = 20 mg kg⁻¹ (Castellanos *et al.* 2000). Comparados con los niveles mínimos requeridos de minerales en el suelo, del total de las muestras de suelo analizadas en el 68 % se tuvieron niveles menores de Cu y en el 21 % se tuvieron niveles menores de Zn, mientras que el 95 % de las muestras tuvieron niveles de Fe mayores a los requeridos por las plantas, observándose un aporte en el orden de 2 hasta 109 veces más de hierro del nivel mínimo requerido. Las concentraciones altas de Fe en el suelo pueden causar una disminución en la absorción de Cu en los animales (Ledoux y Shannon 2005) ya que cuando el forraje es escaso los animales pueden consumir niveles elevados de suelo, hasta un 10 % del consumo de la materia seca, lo que provoca un consumo de niveles altos de Fe (Osvalde 2011).

Contenido mineral en forrajes

Las leguminosas tuvieron 11, 22, 26, 100, 100, 3, 80, 17, 7 y 136 % más Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K, P y relación Ca:P que las gramíneas. Lo que coincide con Vieyra-Alberto *et al.* (2013) quienes encontraron que las leguminosas tienen

mayor contenido de minerales y relación Ca:P de 5 % que las gramíneas. Lo que coincide con Suttle (2010) quien menciona que las leguminosas aportan más minerales que las gramíneas, esto probablemente se deba a la mayor capacidad de extracción de minerales de las leguminosas, por una mayor profundidad radicular. Del total de los ranchos estudiados el 67 % fueron deficientes en Cu, 78 % en Zn y el 78 % en Na, con base en las necesidades de los ovinos mencionadas por el NRC (2007); mientras que el Fe superó los requerimientos de los ovinos en el 100 % de los ranchos y superó en un 44 % el máximo tolerable. En México, se han reportado deficiencias de minerales en los forrajes consumidos por rumiantes (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo 2008, Muñoz-González *et al.* 2015), destacando niveles deficientes de Cu, Zn y P, comportamiento típico de los forrajes estudiados en México y contenidos de Fe superiores al nivel máximo tolerable (NRC 2005).

Contenido mineral en alimentos concentrados

Las bajas concentraciones de Cu detectadas en el alimento para ovejas en etapa de gestación, pueden provocar ataxia enzoótica en los corderos, la cual ocurre por deficiencia de Cu en la gestación (NRC 2007). Las concentraciones de Fe y Zn superiores a los requisitos de los ovinos en todos los concentrados analizados, pueden provocar desequilibrios en el estatus del Cu en los ovinos (Suttle 2010, Genther y Hansen 2014). Las concentraciones de Ca, Mg, Na, K y P cubrieron los requerimientos de los ovinos en 100, 100, 73 y 100 % de los alimentos evaluados. Los alimentos concentrados, gestación, lactancia y finalización, superaron los niveles máximos tolerables de Ca respecto a los requisitos de los ovinos. Las concentraciones altas de K en los concentrados pueden provocar hipomagnesemia en ovejas. Para la relación Ca:P, el 63 % de los concentrados estuvieron por abajo de los niveles ideales, de acuerdo con la NRC (2007) una relación Ca:P < 1 puede causar urolitiasis en corderos en engorda.

Contenido mineral en ingredientes utilizados para la alimentación de ovinos

El alto contenido de Cu en la pollinaza representa un riesgo de toxicidad cuando se incluye en cantidades elevadas en el alimento. El exceso de Cu dietético se almacena en el hígado y se libera, provocando hemoglobinuria y finalmente la muerte (NRC 2007).

Concentración mineral en mezclas minerales

Del total de las mezclas minerales estudiadas el 89 % aportaron niveles bajos de Cu y el 100 % aportaron niveles bajos de P con respecto a los requerimientos de los ovinos. Por las concentraciones deficientes de Cu en los forrajes en algunas UP del presente estudio y la existencia de deficiencias de Cu en la zona, las mezclas minerales utilizadas por lo menos deben cubrir los requisitos de Cu (Muñoz-González et al. 2015). Con respecto al Ca, el 71 % del total de las mezclas minerales cubrieron los requisitos de Ca de los ovinos, probablemente por el uso de carbonato de calcio, que se utiliza como fuente de Ca y como vehículo para diluir otros elementos de la mezcla al igual que el cloruro de sodio.

Concentración mineral en suero sanguíneo de ovinos

La diferencia entre los ranchos en el contenido sérico de los minerales puede estar relacionada con las diferencias en el contenido mineral de los forrajes. Las mayores concentraciones de Zn en los corderos con respecto a las ovejas, pueden deberse a que, durante una situación de deficiencia de Zn, se produce redistribución de cantidades significativas en músculo y hueso, lo que retrasa el inicio de la deficiencia clínica (Underwood y Suttle 1999). La diferencia ($p < 0.011$) entre el tipo de ovinos en las concentraciones de P se debe a una mayor cantidad de P en el suero sanguíneo de los corderos comparados con las ovejas (86 vs 92 mg L⁻¹) lo que puede deberse al consumo de leche, rica en fósforo (NRC 2005).

En otras partes de México estudios realizados en ovinos indican diferencias entre el tipo de animal, al respecto Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) encontraron mayores contenidos de Cu, Fe, K y P

en corderos que en ovejas. Las deficiencias de Cu, Zn y Na en los animales pueden estar relacionadas con las bajas concentraciones de estos minerales en la dieta. Además, los niveles de Fe en el forraje fueron altos. De acuerdo a Weiss et al. (2010) el consumo elevado de Fe de los animales puede provocar deficiencia de Cu. Su deficiencia puede provocar niveles bajos de Fe en la sangre ya que de acuerdo con Suttle (2010) la ceruloplasmina es una enzima dependiente del Cu, y es indispensable para la utilización y transporte del Fe; por lo que una deficiencia de Cu provocada por el consumo de niveles altos de Fe disminuye la actividad de la ceruloplasmina lo que limita el transporte y utilización del Fe en el animal, razón por lo que los niveles de Fe en el suero sanguíneo de los ovinos de este estudio son deficientes, aunque en los forrajes las concentraciones de este mineral sea alta. Con respecto al Na, los animales más susceptibles a una deficiencia son los que están en etapa de lactancia, por la secreción de Na a la leche. Niveles elevados de P encontrado en los animales pueden dar como resultado una disminución de la producción de hormona paratiroidea, por lo que provoca disminución de la producción de 1,25 dihidroxi-colecalciferol. Lo que ocasiona una menor absorción y movilización del Ca de los intestinos y los huesos (Rankins et al. 2002).

CONCLUSIONES

Todos los ranchos tuvieron bajas concentraciones de Na en el agua, se detectaron deficiencias de Cu en suelo en el 78 % de los ranchos. Comparados con los requisitos de los ovinos el 67, 78 y 78 % de los ranchos tuvieron forrajes deficientes en Cu, Zn y Na, respectivamente. Por las concentraciones de Fe, Mn, Ca, Mg y K de los forrajes y alimentos concentrados, estos minerales deben disminuirse al mínimo en las mezclas minerales que se proporcionen a los ovinos; inclusive, la adición de Fe debe ser nula. Los corderos tuvieron mayor concentración de Zn, Ca y P en suero en comparación con las ovejas. El origen de las deficiencias en los ovinos se explica por las deficiencias de algunos minerales en el agua,

suelo y forraje, y en la ausencia de suplementación mineral en algunos ranchos.

LITERATURA CITADA

- Aguilar SA (1987) Muestreo de suelos y manejo de las muestras. En: Tah IJF. (comp.). El análisis químico de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Estado de México. pp: 49-57.
- Castellanos JZ, Uvalle-Bueno JX, Aguilar-Santelises A (2000) Manual de Interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP. 2da. Edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Guanajuato, México. 226p.
- Castillo AR, St-Pierre NR, Silva RN, Weiss WP (2013) Mineral concentrations in diets, water, and milk and their value in estimating on-farm excretion of manure minerals in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96: 3388-3398.
- Domínguez-Vara IA, 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: 173-183.
- Fick KR, McDowell LR, Miles PH, Wilkinson NS, Funk JD, Conrad JH, Valdivia R (1979) Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. 2ª Edición. Universidad de Florida. Florida, USA. 358p.
- García E (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Autónoma de México. México. 246p.
- Genther ON, Hansen SL (2014) A multi-element trace mineral injection improves liver copper and selenium concentrations and manganese superoxide dismutase activity in beef steers. *Journal of Animal Science* 92: 695-704.
- Ledoux DR, Shannon MC (2005) Bioavailability and antagonists of trace minerals in ruminant metabolism. *Proceeding of Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Florida, USA. pp. 23-37.
- Muñoz-González JC, Huerta-Bravo M, Ramírez-Valverde R, González-Alcorta M (2015) Estado mineral y suplemento con alambre de óxido de cobre en cabras de San José Teacalco, Tlaxcala. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2: 203-210.
- NRC (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*. Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council. National Academies Press, Washington, USA. 406p.
- NRC (2005) *Mineral tolerance of animals. Second Revised Edition*. Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals. National Research Council. National Academy Press. Washington, USA. 510p.
- NRC (2007) *Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids*. National Research Council. The National Academies Press. Washington, USA. 345p.
- OCDE-FAO (2011) *OECD-FAO Perspectivas agrícolas 2011-2020*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. OCDE Publishing y FAO. Francia. 196p.
- Ovalde A (2011) Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management. *Environmental and Experimental Biology Review* 9: 1-8.

- Penning P (2004) *Herbage Intake Handbook*. 2nd Ed. The British Grassland Society. UK. 191p.
- Perkin-Elmer (1996) *Analytical methods for atomic absorption spectroscopy*. Perkin Elmer Inc. United States of America. 300p.
- Puls R (1988) *Minerals levels in animal health. Diagnostic Data*. Sherpa International. British Columbia, Canada. 153p.
- Ramos OR, Sepúlveda RM, Villalobos FM (2003) *El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis*. Editorial Plaza y Valdés, Universidad Autónoma de Baja California. México. 210p.
- Rankins DC, Ruffin DC, Pugh DG (2002) *Feeding and nutrition*. In: Pugh DG, Baird AN (ed). *Sheep and goat medicine*. Philadelphia: USA. pp: 19-60.
- Richards JD, Zhao J, Harrell RJ, Atwell C, Dibner JJ (2010) *Trace mineral nutrition in poultry and swine*. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 23: 1527-1534.
- SAS (2004). *SAS/STAT 9.1. User's Guide*. Vol. 1-7. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180p.
- SIAP-SAGARPA (2012) *Avance de la producción pecuaria por estado*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA, México. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=465. Fecha de consulta 03 de junio de 2015.
- Steel RGD, Torrie JH, Dickey DA (1997) *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach*. 3rd ed. McGraw-Hill Series in probability and statistics. USA. 622p.
- Suttle NF (2010) *Mineral nutrition of livestock*. 4th Edition. CABI Publishing. UK. 579p.
- Underwood EJ, Suttle N (1999) *The mineral nutrition of livestock*, 3rd ed. CAB International. New York. USA. 614p.
- UN-DESA (2012) *World urbanization prospects: The 2011 revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. Population Division. New York, USA. 318p.
- Vieyra-Alberto R, Domínguez-Vara IA, Olmos-Oropeza G, Martínez-Montoya JF, Borquez-Gastelum JL, Palacio-Núñez J, *et al.* (2013) *Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la huasteca potosina, México*. *Agrociencia* 47: 121-133.
- Waldron KJ, Rutherford JC, Ford D, Robinson NJ (2009) *Metalloproteins and metal sensing*. *Nature* 460: 823-830.
- Weiss WP, Pinos-Rodríguez JM, Socha MT (2010) *Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation cows*. *Journal of Dairy Science* 93: 2153-2160.
- Zhang B, Yang L, Wang W, Li Y, Li H (2010) *Quantification and comparison of soil elements in the Tibetan Plateau Kaschin-Beck disease area*. *Biological Trace Element Research* 138: 69-78.

