

CONCENTRACIÓN E INTERRELACIÓN MINERAL EN SUELO, FORRAJE Y SUERO DE OVINOS DURANTE DOS ÉPOCAS EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

MINERAL CONCENTRATION AND INTERRELATIONSHIP IN SOIL, FORAGE AND BLOOD SERUM OF SHEEP DURING TWO SEASONS IN THE TOLUCA VALLEY, MÉXICO

Ignacio A. Domínguez-Vara¹ y Maximino Huerta-Bravo²

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus Universitario "El Cerrillo", Toluca, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. 50090. (igy92@hotmail.com) (iadv@uaemex.mx). ²Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

RESUMEN

Para identificar desequilibrios minerales y su interrelación se muestreó suelo, forraje, agua y sangre de corderos y ovejas, en junio y octubre de 1991, en seis unidades de producción ovina (UP) del valle de Toluca, México. El contenido de minerales en el suelo y en el forraje fueron afectados ($p \leq 0.05$) por la UP, la época y su interacción. Los suelos fueron ácidos ($\text{pH}=5.9$), deficientes en P, Zn y Cu; adecuados en Mg, K y materia orgánica; abundantes en Ca y Fe. Los forrajes fueron deficientes en Mg, Zn y Cu, adecuados en Ca y K y elevados en P y Fe. Las concentraciones de minerales en el suero fueron diferentes ($p \leq 0.05$) entre UP, épocas y edades; también hubo efecto ($p \leq 0.05$) de las interacciones. El suero fue bajo en Cu, adecuado en Ca, Mg, K y Zn, y alto en P y Fe. Se desarrollaron ecuaciones de predicción para calcular el contenido de Zn y Cu en corderos y de P, Ca y Cu en ovejas. Se concluye que hay desequilibrios de minerales, sobre todo en junio; la carencia de Cu en ovinos, forraje y suelo fue grave y estuvo asociada al exceso de Fe.

Palabras clave: Forraje, minerales, ovinos, suelo, suero.

INTRODUCCIÓN

En México, la mayoría de los ovinos se alimenta con pastos nativos y subproductos agrícolas (Orcasberro *et al.*, 1982) en sistemas extensivos, donde la producción y calidad del forraje son fuertes limitantes. La ingestión de minerales, además de proteínas, energía y vitaminas, influye en la productividad animal (Minson, 1990). Factores relacionados con el suelo, la planta y los animales pueden afectar la concentración y disponibilidad de los minerales y causar desequilibrios en el animal (Mc Dowell *et al.*, 1997), con distinta intensidad a través del año (Minson, 1990). Los requerimientos minerales de ovinos difieren según la raza, edad, sexo y estado productivo (NRC, 1985). En México, la investigación en nutrición mineral de

Recibido: Abril, 2007. Aprobado: Octubre, 2007.

Publicado como XXXX en *Agrociencia* 42: 173-183. 2008.

ABSTRACT

To identify mineral imbalances and their interrelationships, a sampling was made of soil, forage, water and blood of lambs and ewes, in June and October 1991, in six sheep production units (PU) of the valley of Toluca, México. The mineral content in the soil and forage was affected ($p \leq 0.05$) by the PU, time period and their interaction. The soils were acid ($\text{pH}=5.9$), deficient in P, Zn and Cu; adequate in Mg, K and organic matter; abundant in Ca and Fe. The forages were deficient in Mg, Zn and Cu, adequate in Ca and K and high in P and Fe. Mineral concentrations in the blood serum were different ($p \leq 0.05$) among PU, time periods and ages; there was also effect ($p \leq 0.05$) of the interactions. The blood serum was low in Cu, and adequate in Ca, Mg, K and Zn, and high in P and Fe. Prediction equations were developed to calculate the content of Zn and Cu in lambs and of P, Ca and Cu in ewes. It is concluded that there are mineral imbalances, especially in June; the lack of Cu in sheep, forage and soil was serious and was associated to the excess of Fe.

Key words: Forage, minerals, sheep, soil, blood serum.

INTRODUCTION

In México, most of the sheep are fed with native grasses and agricultural subproducts (Orcasberro *et al.*, 1982) in extensive systems, where forage production and quality are strong limitations. The intake of minerals, along with proteins, energy and vitamins, influences animal performance (Minson, 1990). Factors related with the soil, plant and animals can affect the concentration and availability of minerals and cause imbalances in livestock (McDowell *et al.*, 1997), with different intensity throughout the year (Minson, 1990). The mineral requirements of sheep differ according to breed, age, sex and productive stage (NRC, 1985). In México, the investigation of animal nutrition is scarce, and frequently, minerals are not considered in the diet. The grazing ruminants show various signs and symptoms that could be

ovinos es escasa y, con frecuencia, los minerales no se consideran en la dieta. En los rumiantes en pastoreo hay varios signos y síntomas que se asociarían a problemas minerales, pero pocos se han confirmado. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue obtener información sobre la nutrición mineral de ovinos en pastoreo, en dos épocas del año, en el valle de Toluca, Estado de México, identificar desequilibrios e interrelaciones entre minerales de suelo, planta y animal, así como predecir el contenido de minerales en los ovinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características agroecológicas

El estudio se realizó en seis unidades de producción (UP) de ovinos de la zona de Tenango del Valle, México; cinco UP están entre 19° 96' N y 99° 35' O, a altitudes de 2300 y 3000 m. El clima es templado subhúmedo, con temperatura media entre 12 y 18 °C, clasificado como Cb (W2)(W2) (García, 1987); la precipitación pluvial anual varía entre 800 y 1000 mm, con lluvias en primavera y verano. Los suelos se clasifican como Gleysol, Cambisol, Andosol y Litosol (INEGI, 2003). El área de pastoreo de las UP varió de 10 a 25 ha, con vegetación dominada por especies nativas: garbancillo (*Lupinus montanus*), piojillo (*Lupinus exaltatus*), zacatón (*Muhlenbergia macroura*), flechilla (*Stipa ichum*), anisillo (*Tagetes coronopifolia*) y dos gramíneas inducidas, kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y ballico anual (*Lolium multiflorum*). La UP 6 está en Chalma, entre 18° 58' N y 99° 30' O; el clima es semicálido subhúmedo, clasificado como (A) Ca (W2) (W)ig, lluvias en verano, precipitación entre 1000 y 1500 mm y temperatura entre 18 y 22 °C; suelos Castañozem lúvico, Andosol húmico, Litosol y Vertisol pélico (INEGI, 2003) y praderas de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y zacates buffel (*Cenchrus ciliaris*) y rhodes (*Chloris gayana*).

Animales y manejo

Se seleccionaron UP con rebaños de corderos y ovejas en pastoreo, sin recibir minerales. En las primeras cinco UP, el tamaño promedio del rebaño fue 135 ovinos, con predominio de cruza con Suffolk, Rambouillet y Hampshire. Se identificaron signos clínicos de desnutrición, probablemente asociados a problemas de minerales, como crecimiento lento, emaciación, pérdida de lana, despigmentación, diarrea, fatiga, muerte de corderos, cojera y ataxia severa. La UP de Chalma tenía 400 ovinos Pelibuey, el pastoreo era rotacional y no recibía minerales; este rebaño presentó despigmentación, pérdida de pelo, cojera y muerte de corderos.

Procedimientos de muestreo y análisis químicos

En cada UP se muestreó suelo, agua, forraje y sangre de ovinos en dos épocas, inicio de lluvias (entre el 1 y el 6 de

associated with mineral problems, but few have been confirmed. Therefore, the objective of this study was to obtain information of mineral nutrition in grazing sheep, in two periods of the year, in the valley of Toluca, State of México, to identify imbalances and interrelationships among minerals of soil, plant and animal, as well as to predict the mineral content in sheep.

MATERIALS AND METHODS

Agroecological characteristics

The study was carried out in six sheep production units (PUs) of the area of Tenango del Valle, México; five PUs are located between 19° 96' N and 99° 35' W, at altitudes of 2300 and 3000 m. The climate is subhumid temperate, with mean temperatures between 12 and 18 °C, classified as Cb (W2)(W2) (García, 1987); annual rainfall varies from 800 to 1000 mm, with rains in spring and summer. The soils are classified as Gleysol, Cambisol, Andosol and Litosol (INEGI, 2003). The grazing area of the PUs varied from 10 to 25 ha, with vegetation dominated by native species; garbancillo (*Lupinus montanus*), piojillo (*Lupinus exaltatus*), zacatón (*Muhlenbergia macroura*), flechilla (*Stipa ichum*), anisillo (*Tagetes coronopifolia*) and two induced grasses, kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum*). The PU 6 is in Chalma, between 18° 58' N and 99° 30' W; climate is semiwarm subhumid, classified as (A) Ca (W2) (W)ig, rains in summer, rainfall between 1000 and 1500 mm and temperature between 18 and 22 °C; soils are luvisol Castañozem, humic Andosol, Litosol and pellic Vertisol (INEGI, 2003) and swards of African star grass (*Cynodon plectostachyus*), buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) and Rhodes grass (*Chloris gayana*).

Animals and management

A selection was made of PUs with flocks of grazing lambs and ewes, which did not receive minerals. In the first five PUs, the average flock size was 135 sheep, with predominance of crosses with Suffolk, Rambouillet and Hampshire. Clinical signs of malnutrition were identified, probably associated with mineral problems, such as slow growth, emaciation, wool loss, depigmentation, diarrhea, fatigue, lamb death, lameness and severe ataxia. The PU of Chalma had 400 Pelibuey sheep in rotational grazing and no minerals were supplied; this flock showed depigmentation, hair loss, lameness and lamb death.

Sampling procedures and chemical analyses

A sampling of soil, water, forage and sheep blood serum was made in each PU in two periods, at the onset of rains (between June 1st and 6th, spring) and at the start of the dry season (between October 20th and 26th, autumn). To collect samples of soil and forage, a stratified sampling was employed; the grazing area of

junio, primavera) y principio de secas (entre el 20 y 26 de octubre, otoño). Para recolectar muestras de suelo y forraje se empleó un muestreo estratificado: el área de pastoreo de cada UP se dividió en parcelas de 2 a 5 ha, según su topografía (ladera, cerril o valle), en cada parcela se recolectaron ocho a doce muestras primarias (0.5-1.0 kg) de suelo para obtener cinco muestras compuestas (1.0 kg) en cada UP y se recolectó forraje (cinco muestras compuestas por UP) en la misma área de muestreo del suelo usando la técnica de pastoreo simulado (Hand plucking; Wayne, 1964). En cada UP se recolectaron muestras de sangre de 10 corderos y 10 ovejas adultas, de las cuales se obtuvo suero que se conservó a -20°C , hasta su análisis. El P en el suelo se determinó por el método de Bray-1; el Ca, Mg y K se extrajeron con solución de acetato de amonio 1 N; el Ca y Mg se determinaron por volumetría EDTA y el K por espectrofotometría de emisión de flama; el Zn, Cu y Fe se extrajeron en solución de DTPA y se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (Fick *et al.*, 1979). El Na y el K en agua se determinaron por espectrofotometría de emisión de flama; el Ca y el Mg por espectrofotometría de absorción atómica y el Cl por volumetría de AgNO_3 . En el forraje y el suero, el P se determinó por colorimetría (Harris y Popat, 1954), en tanto que Ca, Mg, K, Zn, Cu y Fe se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (Fick *et al.*, 1979).

Análisis estadístico

El modelo estadístico para el análisis de minerales en el suelo y el forraje incluyó los efectos de UP y época, y para el contenido de minerales en el suero se consideraron efectos de UP, época y edad. Para los análisis de varianza y regresión se emplearon los procedimientos GLM y stepwise (SAS, 1999). Los promedios se compararon con la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelo

En el Cuadro 1 se indican las concentraciones de minerales, el pH y el contenido de MO del suelo. Hubo efecto ($p \leq 0.01$) de la UP en la concentración de Zn, Cu y en el pH; la época influyó en la concentración de Cu. Se presentó un efecto significativo ($p \leq 0.01$) de la interacción UP con época en la concentración de P, Ca, Mg, K, Fe y contenido de MO. El efecto de la interacción en P y K se debió a que en las UP 3 y 6, en octubre, sus concentraciones fueron menores y en estas UP, junto con la UP 1, hubo carencias graves de P en ese mes. Para el Ca la interacción ocurrió en la UP 1 y el contenido fue menor en junio, pero en ambas épocas hubo menos de 900 ppm de Ca. Respecto a Mg, la interacción se debió a que en la UP 6 la concentración fue mayor en octubre, mientras que en el Fe se debió a que su contenido fue mayor en las UP

each PU was divided into plots of 2 to 5 ha, according to the topography (slope, hill or valley), in each plot eight to twelve primary samples of soil were collected (0.5-1.0 kg) to obtain five composite samples (1.0 kg) in each PU, and forage was collected (five compound samples per PU) in the same soil sampling area using the technique of simulated grazing (Hand plucking; Wayne, 1964). Blood samples were collected in each PU of 10 lambs and 10 adult ewes, of which serum was obtained, which was conserved at -20°C until its analysis. The P in soil was determined by the Bray-1 method; Ca, Mg and K were extracted with solution of ammonium acetate 1 N; Ca and Mg were determined by EDTA volumetry and K by flame emission spectrophotometry; Zn, Cu and Fe were extracted in DTPA solution and were determined by atomic absorption spectrophotometry (Fick *et al.*, 1979). The Na and K in water were determined by flame emission spectrophotometry; Ca and Mg by atomic absorption spectrophotometry and Cl by volumetry of AgNO_3 . In forage and soil, P was determined by colorimetry (Harris and Popat, 1954), while Ca, Mg, K, Zn, Cu and Fe were determined by atomic absorption spectrophotometry (Fick *et al.*, 1979).

Statistical analysis

The statistical model for analysis of minerals in soil and forage included the effects of PU and period, and for mineral content in the serum, effects of PU, period, and age were considered. The analysis of variance and regression were made with the GLM and stepwise (SAS, 1999) procedures. The means were compared with the Tukey test (Steel and Torrie, 1997).

RESULTS AND DISCUSSION

Soil

Table 1 shows the concentration of minerals, pH and content of OM in soil. There was effect ($p \leq 0.01$) of PU in the concentration of Zn, Cu and pH; the period influenced the concentration of Cu. There was a significant effect ($p \leq 0.01$) of interaction PU with period in the concentration of P, Ca, Mg, K, Fe and content of OM. The effect of interaction in P and K was due to the fact that in PUs 3 and 6 in October, their concentrations were lower and in these PU, along with PU 1, there were serious deficiencies of P in that month. For Ca, the interaction occurred in PU 1 and the content was lower in June, but in both periods there was less than 900 ppm of Ca. With respect to Mg, the interaction was due to the fact that in PU 6, the concentration was higher in October, whereas in Fe, its content was higher in PUs 5 and 6 in October. The soils were slightly acids ($\text{pH}=5.9$); of the samples analyzed, 63% showed acidity, which was inadequate for the optimum growth of the forage (Reid and Horvath, 1980; Tavera, 1985; Terrón and Rojo,

Cuadro 1. Concentración nutrimental, pH y contenido de materia orgánica en los suelos de seis unidades de producción de ovinos, durante dos épocas, en el valle de Toluca, México.

Table 1. Nutritional concentration, pH and content of organic matter in the soils of six sheep production units, during two periods, in the valley of Toluca, México.

UP y época	Zn	Cu	pH	UP	Época	P	Ca	Mg	K	Fe	MO %
	ppm										
1	2.1b	0.26d	5.0e	1	Junio	4.0	749.4	77.8	63.3	33.0	13.6
2	1.6b	0.45d	5.5f		Octubre	3.8	862.0	51.0	128.4	31.1	14.0
3	1.1b	0.24d	5.4d	2	Junio	8.6	994.2	158.0	67.0	50.8	5.7
4	6.5a	1.00c	5.9c		Octubre	23.8	950.0	143.6	156.6	37.3	6.1
5	2.1b	1.70b	7.7a	3	Junio	2.2	1198.2	179.8	136.8	47.0	11.7
6	2.0b	2.05a	6.4b		Octubre	1.4	953.8	102.0	122.2	34.7	10.8
EEM [†]	0.6	0.08	0.1	4	Junio	17.8	5507.0	2277.8	279.0	219.2	28.1
Junio	2.3x	0.87x	6.0x		Octubre	77.0	1747.4	457.2	762.6	107.1	4.2
Octubre	2.9x	1.03y	5.9x	5	Junio	22.2	2941.2	1610.0	141.4	40.3	7.6
EEM [†]	0.3	0.05	0.06		Octubre	44.2	2813.4	1578.4	320.6	93.8	7.7
Efecto de UP	**	**	**	6	Junio	7.2	2152.2	1230.6	125.6	94.2	3.5
Efecto de época	ns	*	ns		Octubre	5.2	2113.2	1381.6	245.8	97.3	3.4
Interacción	ns	ns	ns		EEM [†]	2.2	89.2	45.1	35.5	7.8	0.9
					Efecto de interacción	**	**	**	**	**	**
Nivel crítico [‡]	2.0	0.60	—			25.0	900	30	60	4.5	—

abcd, xy Medias en una columna con distinta literal son diferentes (*p≤0.05; ** p≤0.01); ns = diferencia no significativa (p>0.05).

[†] EEM = error estándar de la media.

[‡] Tavera (1985); Tisdale y Nelson (1975); De Sousa (1978); Terrón y Rojo (1992); Guerrero (2000).

5 y 6 en octubre. Los suelos fueron ligeramente ácidos (pH=5.9); de las muestras analizadas 63% mostraron acidez, lo que fue inadecuado para el crecimiento óptimo del forraje (Reid y Horvath, 1980; Tavera, 1985; Terrón y Rojo, 1992). Los contenidos de P en las UP 1, 3 y 6; de Zn en las UP 1, 2, 3, 5 y 6; y de Cu en las UP 1, 2 y 3, fueron bajos. De todas las muestras analizadas, 55, 56 y 48% fueron deficientes en P, Zn y Cu. Los suelos tuvieron exceso de Ca, Mg, K y Fe. Las concentraciones de P, K y Cu fueron menores (p≤0.05) en octubre, y las de Ca, Mg y MO en junio. Las carencias de P y Cu, y los excesos de Ca y Mg fueron más graves (p≤0.05) en junio. El contenido de P se correlacionó con el de K (R=0.74; p≤0.001); el de Ca (p≤0.001) con el de Mg (R=0.94) y el de Fe (R=0.76). La correlación de P con K pudo deberse al contenido de MO; los suelos con mucha MO son ricos en fosfatos y K (Tisdale y Nelson, 1975; Guerrero, 2000) y, además, la liberación de P de la MO aumenta el contenido de P en primavera (Black, 1968). La correlación de Ca con Fe pudo deberse a que ambos tuvieron una alta concentración en el suelo.

Las UP 4 y 5 están a una altitud de 2320 m, en el lecho de las lagunas del Lerma, sus suelos son aluviales profundos, de textura migajón arenosa, con 9 a 15% de MO, pH de 6 a 6.5, concentración de P de 8 a 20, Ca de 800 a 2000, Mg de 200 a 400 y K de 168 ppm (Gastorena, 1971). Los valores de Ca, Mg y K, encontrados en el presente estudio (Cuadro 1), fueron superiores que los indicados por Gastorena (1971); las

1992). The contents of P in PUs 1, 3 and 6; of Zn in PUs 1, 2, 3, 5 and 6; and of Cu in PUs 1, 2 and 3 were low. Of the total of samples analyzed, 55, 56 and 48% were deficient in P, Zn and Cu. The soils had an excess of Ca, Mg, K and Fe. The concentrations of P, K and Cu were lower (p≤0.05) in October, and those of Ca, Mg and OM in June. The shortages of P and Cu, and the excesses of Ca and Mg were more pronounced (p≤0.05) in June. The content of P was correlated with that of K (R=0.74; p≤0.001); Ca (p≤0.001) with that of Mg (R=0.94) and that of Fe (R=0.76). The correlation of P with K could have been the result of the content of OM; the soils with high content of OM are rich in phosphates and K (Tisdale and Nelson, 1975; Guerrero, 2000), furthermore, the release of P from the OM increased the content of P in spring (Black, 1968). The correlation of Ca with Fe may have been due to the fact that both had a high concentration in the soil.

PUs 4 and 5 are at an altitude of 2320 m, in the bed of the Lerma lagoons; their soils are deep alluvial of sandy loam texture, with 9 to 15% of OM, pH 6 to 6.5, concentration of P 8 to 20, Ca 800 to 2000, Mg 200 to 400 and K 168 ppm (Gastorena, 1971). Values of Ca, Mg and K found in this study (Table 1) were higher than those indicated by Gastorena (1971); the high concentrations of Ca in both periods (>1500 ppm) coincide with that indicated by the same author. The concentrations of Mg (>30 ppm) and K (>60 ppm) were sufficient for the forage growth

altas concentraciones de Ca en ambas épocas (> 1500 ppm) coinciden con lo indicado por el mismo autor. Las concentraciones de Mg (> 30 ppm) y K (> 60 ppm) fueron suficientes para el crecimiento del forraje (Tavera, 1985; De Souza, 1978; Whitehead, 2000). La concentración de Zn sólo fue adecuada en la UP 4, y 56% de las muestras de suelo tuvieron menos de 2 ppm. La concentración de Cu en la UP 6 fue suficiente; en el resto hubo riesgo de hipocuprosis en los ovinos. Según Miller *et al.* (1981), más de 50% de Cu en el suelo no es extraíble. El contenido de Fe en el suelo superó el requisito del forraje y predispone a deficiencias de Cu en el ovino (Humphries *et al.*, 1985; Whitehead, 2000).

Forraje

En el Cuadro 2 se indican las concentraciones de los minerales en el forraje. La relación Ca:P y la concentración de Fe fueron distintas ($p \leq 0.05$) entre UP y épocas. Hubo efecto significativo ($p \leq 0.01$) de la interacción UP con época en la concentración de P, Mg, K, Zn y Cu. Para P, la interacción se originó en la UP 4, su concentración fue menor en octubre y coincidió con lo observado en el suelo; en Mg, la interacción se debió a que en las UP 1 y 2 la concentración fue menor en junio. Respecto al K, en las UP 1, 4 y 6, su contenido fue menor en junio y coincidió con lo encontrado en el suelo. La concentración de Zn fue menor en las UP 1 y 2 en junio, y no cubrió la necesidad de los ovinos (NRC, 1985; Whitehead,

(Tavera, 1985; De Souza, 1978; Whitehead, 2000). The concentration of Zn was only adequate in PU 4, and 56% of the soil samples had less than 2 ppm. The concentration of Cu in PU 6 was sufficient; in the rest there was risk of hypocuprosis in sheep. According to Miller *et al.* (1981), more than 50% of Cu in the soil is not extractible. The content of Fe in the soil surpassed the requirement of forage and predisposes to the sheep to Cu deficiencies (Humphries *et al.*, 1985; Whitehead, 2000).

Forage

The concentrations of the minerals in forage are shown in Table 2. The ratio Ca:P and concentration of Fe were different ($p \leq 0.05$) among PUs and periods. There was effect ($p \leq 0.01$) of interaction PU with period in the concentration of P, Mg, K, Zn and Cu. For P, the interaction originated in PU 4, its concentration was lower in October and coincided with what was observed in the soil; in Mg, the interaction was due to the fact that in PUs 1 and 2, the concentration was lower in June. With respect to K, in PUs 1, 4 and 6, their content was lower in June and coincided with what was found in the soil. The concentration of Zn was lower in PUs 1 and 2 in June, and did not satisfy the requirement of the sheep (NRC, 1985; Whitehead, 2000; NRC, 2007). With respect to Cu, in PUs 2, 4 and 6, the concentration was lower in June. In all PUs, there was deficiency of Cu and sufficiency of Ca, P and K. In PUs 1, 2, 3, and 5 there was excess

Cuadro 2. Concentración de minerales en los forrajes de seis unidades de producción de ovinos, durante dos épocas, en el valle de Toluca, México.

Table 2. Concentration of minerals in the forages of six sheep production units, during two periods, in the valley of Toluca, México.

UP y época	Ca	Ca:P	Fe	UP	Época	P	Mg	K	Zn	Cu
	%		ppm			%	ppm			
1	0.45a	1.05ab	521bc	1	Junio	0.32	0.08	1.19	21.20	2.15
2	0.42a	0.98bc	680ab		Octubre	0.44	0.09	1.28	29.50	2.13
3	0.47a	01.04a	680ab	2	Junio	0.36	0.08	1.12	17.30	0.69
4	0.40a	0.52c	371c		Octubre	0.41	0.12	0.76	42.10	1.84
5	0.34a	0.72c	807a	3	Junio	0.35	0.18	1.88	30.10	1.39
6	0.42a	1.00ab	255c		Octubre	0.34	0.09	0.95	18.16	1.39
EEM [†]	0.04	0.11	90	4	Junio	0.48	0.24	2.20	39.90	2.94
Junio	0.44x	1.16x	258x		Octubre	0.24	0.14	3.43	18.16	4.71
Octubre	0.39x	0.76y	761y	5	Junio	0.39	0.15	0.83	32.70	2.71
EEM [†]	0.02	0.06	52		Octubre	0.15	0.15	0.66	25.66	1.43
Efecto de UP	ns	*	**	6	Junio	0.38	0.17	0.52	22.90	0.59
Efecto de época	ns	*	**		Octubre	0.40	0.14	0.92	14.80	1.54
Interacción	ns	ns	ns		EEM [†]	0.01	0.10	0.20	5.04	0.43
					UP*Época	**	**	**	**	**
Nivel crítico [‡]	0.30	1.1:1	50			0.25	0.15	0.80	30	5.0

abcd, xy Medias en una columna con distinta literal son diferentes (* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$); ns = diferencia no significativa ($p > 0.05$).

[†] EEM = error estándar de la media.

[‡] Tavera (1985); Tisdale y Nelson (1975); De Souza (1978); Terrón y Rojo (1992); Guerrero (2000); Whitehead (2000).

2000; NRC, 2007). En relación con el Cu, en las UP 2, 4 y 6, la concentración fue menor en junio. En todas las UP hubo carencia de Cu y suficiencia de Ca, P y K. En las UP 1, 2, 3 y 5 hubo exceso de Fe. El Mg fue deficiente en las UP 1, 2 y 3, y marginal en las UP 4, 5 y 6; la concentración de Zn fue deficiente en las UP 1, 3 y 6. De las muestras de forraje analizadas, 95% tuvo baja concentración de Cu, 64% de Zn y 56% de Mg. Según Underwood y Suttle (1999) y Whitehead (2000), la concentración de nutrientes del forraje refleja la fertilidad del suelo donde éste crece. El forraje tuvo más de 0.25% de P y de 3.0% de Ca en la MS, valores suficientes para ovinos en crecimiento (NRC, 1985; NRC, 2007). La concentración de P del forraje en las UP 2, 4 y 5 reflejó la de P en el suelo. La concentración de Fe en las UP 1, 2, 3 y 5 fue alta y pudo afectar la de Cu en los ovinos (Humphries *et al.*, 1985; Whitehead, 2000). La concentración de Zn fue baja en los forrajes de las UP 1, 3 y 6, quizá por su baja concentración en el suelo. La concentración de Fe fue menor ($p \leq 0.01$) en el forraje en junio. Hubo correlación baja entre el contenido de Ca y Mg ($R=0.42$; $p \leq 0.001$) del forraje; en suelos ácidos, el Ca no reduce la absorción de Mg hacia la planta, como ocurre en suelos alcalinos altos en Ca (Beeson y Matrone, 1976; Whitehead, 2000).

Las concentraciones de Ca, Mg, K, Na y Cl en el agua fueron mayores en octubre (160, 46, 46, 139, y 649 mg L⁻¹) y menores en junio (98, 44, 33, 103 y 679 mg L⁻¹); la concentración de estos minerales en aguas de EE.UU. es mayor (571, 143, 43, 551 y 478 mg L⁻¹) (NRC, 1974).

Suero sanguíneo

En el Cuadro 3 se muestra la concentración de minerales en el suero. El contenido de Fe varió entre las UP y la relación Ca:P entre épocas ($p \leq 0.01$). La edad afectó ($p \leq 0.01$) las concentraciones de P, de Fe y la relación Ca:P ($p \leq 0.01$). La concentración de Ca, Mg y Cu fue cambiada ($p \leq 0.01$) por la interacción UP con época. Respecto a Ca, la interacción se debió a que en la UP 4 la concentración bajó en junio y aumentó en octubre, lo cual también ocurrió en el suelo. En relación con el Mg la interacción ocurrió porque su concentración bajó en las UP 2 y 4 en junio, pero no coincidió con los cambios observados en el suelo y el forraje. En el Cu la interacción se debió a que en la UP 5 bajó en octubre, de manera similar que en el forraje. Hubo efecto ($p \leq 0.05$) de la interacción UP por edad en la concentración de Mg y Cu. Respecto a Mg, la interacción está relacionada con su disminución en los corderos de las UP 2 y 4; para el Cu, en la UP 5 hubo una fuerte caída en ambas categorías de ovinos,

of Fe. The Mg was deficient in PUs 1, 2 and 3, and marginal in PUs 4, 5 and 6; the concentration of Zn was deficient in PUs 1, 3 and 6, of the forage samples analyzed, 95% had low concentration of Cu, 64% of Zn and 56% of Mg. According to Underwood and Suttle (1999) and Whitehead (2000), the nutrient concentration of forage reflects the fertility of soil where it grows. The forage had more than 0.25% of P and 3.0% of Ca in DM basis, values sufficient for growing sheep (NRC, 1985; NRC, 2007). The concentration of P of forage in PUs 2, 4 and 5 reflected that of P in the soil. The concentration of Fe in PUs 1, 2, 3 and 5 was high and could have affected that of Cu in sheep (Humphries *et al.*, 1985; Whitehead, 2000). The concentration of Zn was low in forages of PUs 1, 3 and 6, perhaps because of their low concentration in soil. The concentration of Fe was lower ($p \leq 0.01$) in forage in June. There was low correlation between content of Ca and Mg ($R=0.42$; $p \leq 0.001$) of forage; in acid soils, Ca does not reduce the absorption of Mg toward the plant, as occurs in alkaline soils high in Ca (Beeson and Matrone, 1976; Whitehead, 2000).

The concentrations of Ca, Mg, K, Na and Cl in water were higher in October (160, 46, 46, 139, and 649 mg L⁻¹) and lower in June (98, 44, 33, 103 and 679 mg L⁻¹); the concentration of these minerals in waters in the USA is higher (571, 143, 43, 551 and 478 mg L⁻¹) (NRC, 1974).

Blood serum

The concentration of minerals in serum is shown in Table 3. The content of Fe varied among PUs and the ratio Ca:P among periods ($p \leq 0.01$). Age affected ($p \leq 0.01$) the concentrations of P, Fe and the ratio Ca:P ($p \leq 0.01$). The concentration of Ca, Mg and Cu was affected ($p \leq 0.01$) by the interaction PU with period. With respect to Ca, the interaction was due to the fact that in PU 4 the concentration decreased in June and increased in October, which also occurred in the soil. With respect to Mg, the interaction occurred because its concentration decreased in PUs 2 and 4 in June, but did not coincide with the changes observed in soil and forage. In Cu, the interaction was due to the fact that in PU 5 it decreased in October, as in forage. There was effect ($p \leq 0.05$) of interaction PU with age in the concentration of Mg and Cu. As for Mg, the interaction is related with its reduction in lambs of PUs 2 and 4; for Cu, in PU 5 there was a marked drop in both categories of sheep, with deep hypocupremia, perhaps associated to the excess of water in this zone and possible accumulation of Mo in soil and forages. There was effect of the interaction age by period ($p \leq 0.05$) in Ca, Mg, K and Zn; this occurred because

Cuadro 3. Concentración de minerales en el suero de corderos y ovejas adultas en seis unidades de producción, durante dos épocas, en el valle de Toluca, México.
Table 3. Concentration of minerals in the blood serum of lambs and adult ewes in six production units, during two periods, in the valley of Toluca, México.

UP/Edad/época	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu	Fe
	mg 100 mL ⁻¹					μg mL ⁻¹		
1	14.6a	10.9ab	2.4b	27.3a	0.75a	1.9a	0.53a	25.3a
2	10.2a	10.5b	2.1c	25.8a	1.03a	1.7a	0.57a	12.8b
3	10.6a	11.5ab	2.6ab	27.7a	1.08a	1.9a	0.63a	8.7b
4	12.2a	11.9a	2.6ab	27.2a	0.97a	1.4a	0.57a	4.6b
5	13.5a	11.3ab	2.7ab	28.3a	0.84a	1.5a	0.28b	5.2b
6	13.0a	11.4ab	2.9a	28.0a	0.88a	2.0a	0.62a	7.4b
EEM [†]	1.0	0.28	0.08	1.1	0.12	0.18	0.028	4.0
Corderos	13.8x	11.4x	2.6x	28.7x	0.83x	1.8x	0.48x	14.4x
Ovejas	10.7y	11.1x	2.5x	26.1y	1.04y	1.7x	0.57y	6.9y
EEM [†]	0.6	0.2	0.04	0.7	0.07	0.10	0.02	2.3
Junio	12.1x	13.0x	2.8x	33.4x	1.07x	2.3x	0.51x	13.1x
Octubre	12.4x	9.5y	2.3y	21.4y	0.77y	1.1y	0.55y	8.3x
EEM [†]	0.6	0.2	0.04	0.7	0.07	0.10	0.02	2.3
Efectos de:								
UP	ns	**	**	ns	ns	ns	**	**
Edad	**	ns	ns	**	**	ns	**	*
Época	ns	**	**	**	**	**	*	ns
UP*Época	ns	**	**	*	ns	ns	**	ns
UP*Edad	ns	ns	*	ns	ns	ns	**	ns
Edad*Época	ns	*	*	*	ns	*	**	ns
UP*edad*época	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns
Nivel crítico [‡]	6.5	9.0	2.0	20.0	2:1	0.60	0.65	1.0

abcd, xy Medias en una columna con distinta literal son diferentes (p≤0.05).

[†] EEM = error estándar de la media.

[‡] ARC (1980); NRC (2007); Minson (1990); Underwood y Suttle (1999).

ns = no significativo (p>0.05); * = significativo (p≤0.05); ** = significativo (p≤0.01).

con grave hipocupremia, quizá asociada al exceso de agua en esta zona y posible acumulación de Mo en el suelo y forrajes. Hubo efecto de la interacción edad por época (p≤0.05) en Ca, Mg, K y Zn; esto ocurrió porque en junio aumentaron sus concentraciones en los corderos, pero en octubre los valores fueron mayores en las ovejas. La concentración de Ca, K y Cu fue cambiada (p≤0.01) por la interacción UP por época con edad. El efecto en la concentración de Ca y K se manifestó en la UP 4 en octubre, con valores mayores en las ovejas. Respecto a Cu, en la UP 5, en octubre, las ovejas presentaron la concentración más baja. Todos los rebaños tuvieron baja concentración de Cu, inadecuada relación Ca:P y exceso de P y Fe. De todos los sueros analizados las concentraciones de Ca, Mg, K, Zn y Cu fueron menores al valor crítico, en 19, 20, 18, 11, 78%.

Las ovejas tuvieron menor concentración de P, K y Fe, y los corderos menor de Cu, quizá por el exceso de Fe del suelo y forraje; en las visitas a las UP se observó ingestión de suelo por los corderos. En junio, la concentración de Ca, Mg, K y Zn fue mayor y la de

in June their concentrations increased in lambs, but in October the values were higher in ewes. The concentration of Ca, K and Cu was affected (p≤0.01) by the interaction PU by period with age. The effect of the concentration of Ca and K was manifested in PU 4 in October, with higher values in the ewes. Respect to Cu, in PU 5, in October, the ewes presented the lowest concentration. All of the flocks had low concentration of Cu, inadequate ratio Ca:P and excess of P and Fe. Of the total of serums analyzed, the concentrations of Ca, Mg, K, Zn and Cu were lower than the critical value, in 19, 20, 18, 11, 78%, respectively.

The ewes had lower concentration of P, K and Fe, and the lambs lower concentration of Cu, maybe due to the excess of Fe in soil and forage; during the visits to the Pus, ingestion of soil by the lambs was observed. In June, the concentration of Ca, Mg, K and Zn was higher and that of Cu lower (p≤0.05). There was correlation (p≤0.01) between the concentrations of Ca and Mg (R=0.74) and between those of Mg and K (R=0.49). The differences between lambs and ewes may be due to their different mineral needs,

Cu menor ($p \leq 0.05$). Hubo correlación ($p \leq 0.01$) entre las concentraciones de Ca y Mg ($R=0.74$) y entre las de Mg y K ($R=0.49$). Las diferencias entre corderos y ovejas pueden deberse a sus distintas necesidades, el forraje consumido y el suelo ingerido ya que en las primeras cinco UP se observó sobre pastoreo, que acentúa la ingestión de suelo.

Interrelaciones de las concentraciones de los nutrimentos en suelo, forraje y animal

La concentración de P en el suelo se correlacionó ($p \leq 0.05$) con la de P ($R=0.88$), K ($R=0.60$) y Cu ($R=0.68$) en el forraje; y con la de Zn en los corderos ($R=0.55$). La concentración de P en suelo tuvo correlación negativa ($p \leq 0.01$) con la de Ca del forraje ($R=-0.69$). Al respecto, Tisdale y Nelson (1975) indicaron que en suelos altos en Ca y P hay fosfatos di y tricálcicos que no son asimilados por las plantas; además, el exceso de P del forraje reduce la absorción de Ca en el tubo digestivo y causa una inadecuada relación Ca:P en el suero (McDowell, 1997). La concentración de Ca y Mg en el suelo se correlacionó ($p \leq 0.01$) con la de Mg en el forraje ($R=0.84$ y 0.83). Según Beeson y Matrone (1976), en suelos alcalinos el Ca antagoniza con Mg y P y por tanto la correlación entre el Ca en el suelo y el Mg en el forraje sería negativa; sin embargo, en el presente estudio los suelos fueron ácidos y la planta debió absorber bien el Mg. Hubo correlación negativa entre el nivel de Cu en los corderos y el de P en las ovejas ($R=-0.52$; $p \leq 0.07$); por tanto, el exceso de P en las ovejas debió afectar la concentración de Cu en sus corderos. Hubo correlación negativa entre el pH del suelo y la concentración de Cu de los corderos, y con la concentración de K, Zn, Cu y Fe de las ovejas. La acidez del suelo se relaciona con escasez de bases intercambiables (Brady y Weil, 1999); la mayor acidez fue en las UP 1, 2, 3 y 4.

Predicción de las concentraciones de minerales en el suero de corderos y ovejas

En junio, la concentración de Zn en los corderos se asoció ($R^2=0.41$) con la concentración de Ca y Zn del forraje (Cuadro 4); el exceso de Ca en el forraje reduce la absorción de Zn y su concentración en el suero y un mayor aporte de Zn en el forraje aumentará su concentración en el suero. La concentración de Cu en los corderos se explica parcialmente ($R^2=0.39$) por el pH y la MO y P del suelo. La hipocuprosis natural en ovinos en pastoreo ocurre cuando el suelo y el forraje tienen poco Cu; otras causas de bajo Cu en los rumiantes se asocian a factores de la dieta o del

forraje consumido y suelo ingerido, dado que en las primeras cinco UP se observó sobre pastoreo, lo que podría acentuar la ingestión de suelo.

Interrelaciones de las concentraciones de nutrimentos en suelo, forraje y animal

La concentración de P en el suelo se correlacionó ($p \leq 0.05$) con la de P ($R=0.88$), K ($R=0.60$) y Cu ($R=0.68$) en el forraje; y con la de Zn en los corderos ($R=0.55$). La concentración de P en suelo tuvo correlación negativa ($p \leq 0.01$) con la de Ca del forraje ($R=-0.69$). To this respect, Tisdale and Nelson (1975) indicated that in soils high in Ca and P, there are di and tricalcic phosphates that are not assimilated by the plants; furthermore, the excess of P in forage reduces the absorption of Ca in the digestive tube and causes an inadequate ratio Ca:P in serum (McDowell, 1997). The concentration of Ca and Mg in soil was correlated ($p \leq 0.01$) with that of Mg in forage ($R=0.84$ and 0.83). According to Beeson and Matrone (1976), in alkaline soils, Ca antagonizes with Mg and P and therefore the correlation between the Ca in soil and Mg in forage would be negative; however, in this study the soils were acid and the plant could have had good absorption of Mg. There was negative correlation between the level of Cu in lambs and that of P in ewes ($R=-0.52$; $p \leq 0.07$); therefore, the excess of P in ewes must have affected the concentration of Cu in their lambs. There was negative correlation between pH of soil and concentration of Cu in lambs, and with concentration of K, Zn, Cu and Fe of ewes. The acidity of the soil is correlated with the scarcity of exchangeable basis (Brady and Weil, 1999); the highest acidity was in PUs 1, 2, 3 and 4.

Predicción de las concentraciones de los minerales en el suero de los corderos y ovejas

In June, the concentration of Zn in lambs was associated ($R^2=0.41$) with concentration of Ca and Zn of forage (Table 4); the excess of Ca in forage reduces the absorption of Zn and its concentration in serum and a higher supply of Zn and its concentration in forage will increase its concentration in serum. The concentration of Cu in lambs is partially explained ($R^2=0.39$) by the pH and OM and P in soil. The natural hypocuprosis in grazing sheep occurs when the soil and forage have little Cu; other causes of low Cu in ruminants are associated with factors of the diet or of the animal that reduce absorption (Phillippo, 1983). The soils with high content of OM have little available Cu (Haynes, 1997; Suttle, 1991). The pH of soil is determinant in the absorption of Cu, and if

Cuadro 4. Ecuaciones para predecir la concentración de minerales en el suero de ovinos de seis unidades de producción, durante dos épocas, localizadas en el valle de Toluca, México.

Table 4. Equations for predicting the concentration of minerals in the blood serum of sheep of six production units, during two periods, located in the valley of Toluca, México.

Ecuación general: $Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_nx_n$	R ²
Zn ^φ = 2.26-0.10 (CaF)+0.42 (ZnF)	0.41
Cu ^φ = 0.613-0.00013 (pHS)+0.0088 (MOS)-0.67 (PF)	0.39
Zn ^φ = 0.9608+0.0731 (ZnS)+0.0229 (MOS)-0.0686 (CaF)+0.0561 (KF)	0.98
Cu ^φ = -0.4653+0.0006 (KS)+0.7833 (KF)	0.99
P ^φ = 372.56-17.56 (ZnF)-85.48 (ZnS) + 48.1143 (MOS)	0.59
Ca ^φ = 172.95-5.3718 (ZnF)-0.1639 (ZnS)-0.5001 (FeS)	0.50
Cu ^φ = 0.2466+0.817 (CaF)-0.149 (KF)+0.0061 (CuF)-0.0005 (FeF)-0.0113 (pHS)	0.61
Cu ^Ω = 7.50+0.8557 (CuS)	0.95

PS, CaS, MgS, KS, ZnS, CuS, FeS, pHS, MOS = nutrientes, pH y materia orgánica en el suelo.

PF CaF, MgF, KF, ZnF, CuF, FeF = nutrientes en el forraje.

^φPC, CaC, MgC, KC, ZnC, CuC, FeC = nutrientes en el suero de corderos en junio.

^φPC, CaC, MgC, KC, ZnC, CuC, FeC = nutrientes en el suero de corderos en octubre.

^φPA CaA, MgA, KA, ZnA, CuA, FeA = nutrientes en el suero de ovejas en junio.

^ΩPA CaA, MgA, KA, ZnA, CuA, FeA = nutrientes en el suero de ovejas en octubre.

animal que reducen su absorción (Phillippo, 1983). Los suelos con alto contenido de MO suelen tener poco Cu disponible (Haynes, 1997; Suttle, 1991). El pH del suelo es determinante en la absorción del Cu y si es menor de 5.5 la planta reduce su absorción (COSAC, 1982); esto pudo ocurrir en las UP 1, 2 y 3 cuyos valores de pH fueron menores de 5. La hipocuprosis en ovinos se ha asociado con alto contenido de Fe en los suelos y forrajes, y con suelos lavados, arenosos y ácidos, como factores predisponentes (McFarlane et al., 1990). En octubre, la concentración de Zn en los corderos estuvo influida (R²=0.98) por la de Zn y la MO del suelo, y por el contenido de Ca y K en el forraje. Por tanto, al aumentar el Zn y la MO en el suelo, también aumenta en el forraje y los corderos, pero el exceso de Ca y K en el forraje los reducen. La MO del suelo, al estabilizar los iones metálicos como el Zn, aumenta su disponibilidad para la planta (Aubert y Pinta, 1977). En octubre, el contenido de Cu en los corderos se asoció (R²=0.99) con el de K en el suelo y forraje. En octubre, el K en el suelo no cambió y el de Cu en el forraje aumentó; en contraste, en el suero aumentó el Cu pero sin corregir la deficiencia, mientras que el K disminuyó a niveles marginales. La diarrea puede agotar el K (Preston y Linser, 1985) y durante las visitas a las UP se observó a varios ovinos con diarrea.

En junio, la concentración de P en las ovejas se asoció (R²=0.59) con la concentración de Zn y la MO en el suelo y con la concentración de Zn en el forraje: al disminuir el Zn en el suelo y forraje, aumentó el P en las ovejas. La concentración de Ca se vinculó (R²=0.50) con la de Zn en el forraje y el suelo, y la de Fe en el suelo, lo cual explicaría la hipercalcemia de las ovejas en junio. El Cu estuvo influido

it is lower than 5.5, the plant reduces its absorption (COSAC, 1982); this could have occurred in PUs 1, 2 and 3, whose values of pH were lower than 5. The hypocuprosis in sheep has been associated with high content of Fe in soils and forages, and with washed out, sandy and acid soils, as predisposing factors (McFarlane et al., 1990). In October, the concentration of Zn in lambs was influenced (R²=0.98) by Zn and OM of the soil, and by the content of Ca and K in forage. Therefore, when the Zn and OM are increased in soil, they are also increased in forage and lambs, but the excess of Ca and K in forage reduces them. The OM of soil, as it stabilizes the metallic ions such as Zn, increases their availability to plant (Aubert and Pinta, 1977). In October, the content of Cu in lambs was associated (R²=0.99) with that of K in soil and forage. In October, the K in soil did not change and that of Cu in forage increased; in contrast, the Cu increased in the serum but without correcting the deficiency, whereas the K decreased to marginal levels. Diarrhea can deplete the K (Preston and Linser, 1985) and during the visits to the PUs several sheep with diarrhea were observed.

In June, the concentration of P in sheep was associated (R²=0.59) with the concentration of Zn and the OM in soil and with the concentration of Zn in forage; when Zn was diminished in soil and forage, the P increased in ewes. The concentration of Ca was related (R²=0.50) with that of Zn in forage and soil, and that of Fe in soil, which would explain the hypercalcemia of ewes in June. The Cu was influenced (R²=0.61) by the concentration of Ca, K, Cu and Fe in forage and pH of soil; thus, Ca and Cu in forage increased the content of Cu in ewes, but the excess of Fe in forage of acid soils reduced it. In sheep,

($R^2=0.61$) por la concentración de Ca, K, Cu y Fe en el forraje y el pH del suelo; así, Ca y Cu en el forraje aumentó el contenido de Cu en las ovejas, pero el exceso de Fe en el forraje de suelos ácidos lo redujo. En ovinos, 800 mg Fe kg^{-1} MS reducen la absorción de Cu de 6 a 4% (Suttle y Peter, 1985); en bovinos, 250 mg de Fe kg^{-1} MS reducen la concentración de Cu en el suero (Bremner *et al.*, 1987). En octubre, la concentración de Cu se relacionó ($R^2=0.95$) con la de Cu en el suelo. El Cu en el suelo, el forraje y el suero fueron mayores en octubre, pero el Fe en el suelo fue menor y en el forraje no cambió. En forrajes templados la concentración de Fe es mayor en primavera y verano, y la carencia de Cu se ha asociado con meses y años lluviosos, pero es difícil predecir la hipocuprosis sólo a partir de la concentración de Cu del suelo y los forrajes (Underwood y Suttle, 1999).

CONCLUSIONES

Con base en los resultados encontrados, se concluye que existieron desequilibrios de minerales, con excesos de P y Fe en los ovinos. La deficiencia de Cu fue grave en los corderos y la relación Ca:P fue inadecuada en corderos y ovejas. La despigmentación, alopecia, opacidad de la córnea, diarreas, deformaciones óseas, ataxia y mala dentadura pudieron estar relacionadas con las carencias y excesos de minerales. La hipocuprosis fue grave en los ovinos, asociada a carencias de Cu y excesos de Fe en el suelo y en los forrajes.

LITERATURA CITADA

- ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. London, U.K.
- Aubert, H., and M. Pinta. 1977. Trace Elements in Soil. Elsevier. New York, NY, USA. 560 p.
- Beeson, K. C., and G. Matrone. 1976. The Soil Factor in Nutrition: Animal and Human. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 235 p.
- Black, C. A. 1968. Soil Plants Relationships. 2nd ed. Wiley. New York, NY, USA. 320 p.
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th ed. Prentice Hall. New Jersey, NJ, USA. 881 p.
- Bremner, I., W. R. Humphries, M. Phillip, M. J. Walker, and P. C. Morrice. 1987. Iron-induced copper deficiency in calves: dose-response relationships and interactions with molybdenum and sulphur. *Anim. Prod.* 45: 403-414.
- COSAC. 1982. Trace Elements Deficiency in Ruminants. Edimburgh, Scotland. pp: 49-50.
- De Sousa, J. C. 1978. Interrelationships among mineral levels in soil, forages, and animal tissues on ranches in Northern Mato Grosso Brasil. Ph.D. Dissertation. University of Florida, Gainesville, Florida, USA. 150 p.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, N. S. Wilkinson, D. J. Funk, J. H. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Universidad de Florida, Gainesville, FL, USA. 135 p.

800 mg Fe kg^{-1} DM reduced the absorption of Cu from 6 to 4% (Suttle and Peter, 1985); in cattle, 250 mg of Fe kg^{-1} DM reduced the concentration of Cu in blood serum (Bremner *et al.*, 1987). In October, the concentration of Cu was corelated ($R^2=0.95$) with Cu in soil. The Cu concentrations in soil, forage and serum were higher in October, but the Fe in soil was lower and it did not change in forage. In temperate forages the concentration of Fe is higher in spring and summer, and the lack of Cu has been associated with rainy months and years, but it is difficult to predict hypocuprosis only from the concentration of Cu of the soil and forages (Underwood and Suttle, 1999).

CONCLUSIONS

Based on the results found, it is concluded that there are imbalances of minerals, with excesses of P and Fe in the sheep. The deficiency of Cu was deeply in lambs and the ratio Ca:P was inadequate in lambs and ewes. Depigmentation, alopecia, opacity of cornea, diarrheas, bone deformations, ataxia and bad teeth could be related to the lack and excess of minerals. Hypocuprosis was serious in sheep, associated to deficiencies of Cu and excesses of Fe in the soil and in forages.

—End of the English version—



- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ª. ed., México, D. F. 217 p.
- Gastorena, de A. G. 1971. Propiedades físicas y químicas del suelo del valle de Toluca. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México, D. F. 165 p.
- Guerrero, G. A. 2000. El Suelo, los Abonos y la Fertilización de los Cultivos. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Harris, W. D., and P. Popat. 1954. Determination of the phosphorus content of lipids. *Am. Oil. Chem. Soc. J.* 31: 124-131.
- Haynes, R. J. 1997. Micronutrients status of a group of soils in Canterbury, New Zeland, as measured by extraction with EDTA, DTPA and HCL, and its relationship with plant response to applied Cu and Zn. *J. Agric. Sci. Cambridge* 129: 325-333.
- Humphries, W. E., I. Breme, and M. Phillip. 1985. The influence of dietary iron on copper metabolism in the calf. *In: C. F. Mills, I. Bremner, and J. K. Chesters (eds.). Proc. Fifth Int. Symp. on Trace Element in Man and Animals. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK. pp: 367-370.*
- INEGI. 2003. Anuario Estadístico. México. Gobierno del Estado de México. México. 230 p.
- McDowell, L. R., J. Velásquez-Pereira, y G. Valle. 1997. Minerales para Rumiante en Pastoreo en Regiones Tropicales. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 81 p.
- McFarlane, J. D. J. D. Judson, and J. Gouzos. 1990. Copper deficiency in ruminants in the South East of Australia. *Austr. J. Exp. Agric.* 30: 187-193.

- Miller, E. R., M. Parsons, D. Ullrey, and P. Ku. 1981. Bioavailability of iron from ferric cholin citrate and a ferric copper, cobalt, cholin complex for young pigs. *J. Anim. Sci.* 52: 783-791
- Minson, D. J. 1990. Forages in Ruminant Nutrition. Academic Press, San Diego, USA. 463 p.
- NRC. 1974. Nutrient and Toxic Substances in Water for Livestock and Poultry. National Academy of Sciences. Washington, DC, USA. 95 p.
- NRC. 1985. Nutrient Requirements of Sheep. The National Academy Press. Washington, DC, USA. 99 p.
- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Animal Nutrition Series. The National Academy Press. Washington, DC, USA. 362 p.
- Orcasberro, R., S. Fernández, e I. Tovar. 1982. La producción ovina de la zona de Río Frío, México. *In: Memorias del primer seminario nacional sobre sistemas de producción pecuaria.* Universidad Autónoma Chapingo, México. pp: 269-288.
- Phillippo, M. 1983. The role of dose response trials in predicting trace elements deficiency disorders. *Br. Soc. Anim. Prod.* 7: 51-59.
- Preston, R. L., and J. R. Linser. 1985. Potassium in animal nutrition. *In: Munson, R. D. (ed). Potassium in Agriculture.* Madison, WI, USA. pp: 595-617.
- Reid, R. L., and D. J. Horvath. 1980. Soil chemistry and mineral problems in farm livestock. A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 5: 95-112
- SAS. 1999. SAS User's Guide: Statistics. SAS Inst., Cary, NC, USA.
- Steel, D. R. G., and J. H. Torrie. 1997. Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2ª ed. Mc Graw-Hill. México, D. F. 622 p.
- Suttle, N. F., and D. W. Peter. 1985. Rumen sulphide metabolism as a major determinant of the availability of copper to ruminants. *In: Mills, C. F., I. Bremner, and J. K. Chesters (eds). Proc. Fifth Int. Symp. on Trace Element in Man and Animals: Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK.* pp: 367-370.
- Suttle, N. F. 1991. The interaction between copper, molybdenum and sulphur in ruminant nutrition. *Annual Rev. Nutr.* 11: 121-140.
- Tavera, G. 1985. Criterios para interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación Especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. La Laguna, Coahuila, México. 150 p.
- Terrón, P. V., y H. C. Rojo. 1992. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Russell. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 1045 p.
- Tisdale, S., and W. Nelson. 1975. Soil Fertility and Fertilizers. McMillan. New York, USA. 240 p.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd ed. CABI. London, UK. 613 p.
- Wayne, C. C. 1964. Symposium on nutrition of forages and pastures: Collecting samples for representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies. *J. Anim. Sci.* 23: 265-270.
- Whitehead, C. D. 2000. Nutrient elements in grassland. Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing International. University Press, Cambridge. UK. 369 p.