

DIAGNÓSTICO DE LA CONCENTRACIÓN MINERAL EN TEJIDO ÓSEO DE OVINOS EN PASTOREO EN EL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO

MINERAL CONCENTRATION IN BONE TISSUE OF SHEEP GRAZING IN THE STATE OF YUCATÁN, MÉXICO

José L. Turriza-Chan¹, Arturo F. Castellanos-Ruelas^{2*}, J. Gabriel Rosado-Rubio², Manuel Heredia y Aguilar³, Eduardo Cabrera-Torres⁴

¹Instituto Tecnológico de Calkiní. Campeche. ²Facultad de Ingeniería Química, Campus de Ingenierías y Ciencias Exactas, Universidad Autónoma de Yucatán. 97203. Periférico Norte km. 33.5. Tablaje Catastral 13615. Colonia Chuburná de Hidalgo Inn. Mérida, Yucatán. México (cruelas@uady.mx). ³Asesor Independiente. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chetumal, Quintana Roo.

RESUMEN

Los estudios sobre el perfil mineral de forrajes que consumen los rumiantes en pastoreo deben completarse con información sobre su depósito en los tejidos, debido a que las deficiencias y desequilibrios de minerales se reflejan en la composición corporal y por consecuencia en la productividad de los animales. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar el contenido de cuatro minerales en la duodécima costilla de ovinos de pelo en pastoreo en el estado de Yucatán durante la época de lluvias (junio-octubre). Se muestrearon 50 predios de ovinocultores en 47 municipios y se recolectaron 139 muestras de costilla mediante biopsias. Se determinó el contenido de Ca, K, Cu y Fe mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados se analizaron estadísticamente usando un diseño experimental completamente al azar con un arreglo trifactorial incluyendo el efecto de la zona geográfica (Centro, Oriente, Poniente y Sur), el estado fisiológico de los ovinos (Destete, Prima y Adulta), el tipo de suelo (Luvisol, Vertisol, Cambisol, Rendzina, Litosol), las dobles y triple interacciones. No se encontró efecto de la localización geográfica ($p > 0.05$) sobre el contenido de Ca; el promedio fue 42.7 %, mayor a 36 % (considerado normal). En las zonas Oriente y Centro, en 33 % y 27 % de las muestras hubo un contenido de Ca inferior al normal. Además, las concentraciones promedio de K (0.017 %), Cu (0.68 ppm) y Fe (4.6 ppm), fueron inferiores a las concentraciones normales. Los destetes tuvieron el menor contenido de Ca ($p \leq 0.05$) y el mayor de K ($p \leq 0.05$) en la costilla. No se encontró efecto ($p > 0.05$) del tipo de suelo

ABSTRACT

Studies on the mineral profile of fodder consumed by grazing ruminants must be completed with information on its effect on the tissues since deficiencies and mineral imbalances are reflected in the body composition and consequently in the productivity of animals. The aim of this study was to quantify four minerals on the twelfth rib of hair sheep grazing in the state of Yucatán during the rainy season (June-October). Fifty farms of sheep breeders were sampled in 47 municipalities and 139 rib samples were collected through biopsies. The contents of Ca, K, Cu and Fe were determined by using atomic absorption spectrophotometry. Results were statistically analyzed using a completely randomized experimental design with a trifactorial arrangement, including the effect of the geographical area (Centre, East, West and South), the physiological status of sheep (Weaning, Yearling and Adult), soil type (Luvisol, Vertisol, Cambisol, Rendzina, Litosol), double and triple interactions. The geographical location showed no effect ($p > 0.05$) on the Ca content; the average was 42.7 %, above 36 % (considered normal). In the eastern and central zones, 33 % and 27 % of the samples recorded a Ca content below normal. In addition, the average concentrations of K (0.017 %), Cu (0.68 ppm) and Fe (4.6 ppm) were lower than normal levels. Weaning showed the lowest Ca content ($p \leq 0.05$) and the highest of K ($p \leq 0.05$) on the rib. There was no effect ($p > 0.05$) of the soil type on the content of Ca, K, Cu and Fe. It was concluded that there are Ca deficiencies in the central zone which affect the lambs mostly at weaning. Deficiencies of K, Cu and Fe were also detected in bone.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Agosto, 2009. Aprobado: Mayo, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 471-480. 2010.

Key words: biopsy, minerals, hair sheep, tropic.

en el contenido de Ca, K, Cu y Fe. Se concluye que existen deficiencias de Ca en la zona Centro que afectan más a los corderos al destete. También se detectaron deficiencias de K, Cu y Fe en hueso.

Palabras clave: biopsia, minerales, ovinos de pelo, trópico.

INTRODUCCIÓN

Después de las deficiencias de energía y de proteínas, los desequilibrios de minerales son el factor más limitante de la productividad de los animales de granja (Arellano, 2006). Los rumiantes en pastoreo son más vulnerables a estas carencias dado que dependen del contenido mineral de los forrajes para satisfacer su requerimiento. No obstante su importancia, pocos esfuerzos se han realizado en México para conocer y corregir este importante factor con la finalidad de aumentar la productividad animal.

En el estado de Yucatán se condujeron los primeros trabajos sobre minerales en la alimentación de rumiantes en pastoreo. Para bovinos se detectaron en el pasto Guinea (Millán *et al.*, 1990a) concentraciones marginales de Cu y Zn para sus necesidades (NRC, 2000), y niveles deficitarios de P, Co y Se, la presencia de Fe fue excesiva y en ocasiones la de Ca. Otros autores encontraron resultados similares (Bores y Castellanos, 2003). El inventario de ganado ovino en el estado de Yucatán ha crecido más de 50 % en el período 2002 a 2007 (SIAP, 2009); sin embargo, la investigación en ovinos no ha recibido la misma atención que los bovinos productores de carne.

Las deficiencias, concentraciones marginales y desequilibrios de minerales pueden ser resueltos mediante su aporte adecuado al ganado en pastoreo, sobre todo de macrominerales (Millán *et al.*, 1990b). La respuesta al aporte de microminerales es menos detectable en la productividad animal (Cetz *et al.*, 2005). En el caso de Ca, su abundancia en la dieta puede interferir con la absorción del P cuando la relación Ca:P es mayor a 7:1 (Gueguen *et al.* 1988). En cuanto al Fe, puede interferir con la absorción del Cu y Zn (Gooneratne *et al.*, 1994).

El análisis de forrajes es una herramienta incompleta para el diagnóstico del estatus mineral de los rumiantes en pastoreo, ya que no considera el grado de absorción intestinal de los minerales, ni su utilización. Una manera de investigarlo es realizar análisis

INTRODUCTION

After energy and protein deficiencies, mineral imbalances are the most limiting factor of farm animal productivity (Arellano, 2006). Grazing ruminants are more vulnerable to these deficiencies because they depend on the mineral content of fodder to meet their requirements. Despite their importance, little effort has been made in Mexico to study and address this important factor in order to increase animal productivity.

The first works on minerals in the diet of grazing ruminants were conducted in the state of Yucatán. In cattle, marginal concentrations of Cu and Zn to meet their needs (NRC, 2000) were detected in Guinea grass (Millán *et al.*, 1990a), as well as deficient levels of P, Co and Se; the presence of Fe was excessive and sometimes Ca as well. Other authors found similar results (Bores and Castellanos, 2003). The inventory of sheep in the state of Yucatán grew more than 50 % in the period 2002-2007 (SIAP, 2009); however, regarding research, ovinos have not received the same attention as beef cattle.

Deficiencies, marginal concentrations, and mineral imbalances can be resolved through an adequate supply to grazing cattle, particularly of macrominerals (Millán *et al.*, 1990b). The response to the contribution of microminerals is less detectable in animal productivity (Cetz *et al.*, 2005). The abundance of Ca in the diet may interfere with the absorption of P when the Ca: P relationship is greater than 7:1 (Gueguen *et al.*, 1988). The Fe may interfere with the absorption of Cu and Zn (Gooneratne *et al.*, 1994).

The analysis of fodder is an incomplete tool for the diagnosis of the mineral status of grazing ruminants, as it does not consider the degree of intestinal absorption of minerals, nor its use. One way to investigate it is by analyzing the mineral content of the animals' ribs. The ribs and axial skeleton are rehabilitated more rapidly than the long bones; therefore, it is there where mineral changes due to diet can be detected (Underwood and Suttle, 2001).

The objective of this research was to measure the content of four minerals in the bone tissue of grazing sheep, of different physiological stages, during the rainy season in the state of Yucatán, Mexico, and their relationship with the geographical area and type of soil.

del contenido mineral de las costillas de los animales. Las costillas y el esqueleto axial son rehabilitados más rápidamente que los huesos largos; por tanto, ahí se detectan los cambios minerales por efecto de la dieta (Underwood y Suttle, 2001).

El objetivo de esta investigación fue medir el contenido de cuatro minerales en el tejido óseo de ovinos en pastoreo, con diferente estado fisiológico, durante la época de lluvias en el estado de Yucatán, México, y su relación con la zona geográfica y el tipo de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el estado de Yucatán, cuyo clima es de tipo AW₀, de acuerdo con la clasificación de Köppen (modificado por García, 1973); el cual es más seco que los climas cálidos sub-húmedos, con lluvias en verano y una estación de sequía de enero a mayo, con temperatura media anual de 22-26 °C y una precipitación anual de 600-1200 mm (Duch, 1998).

El muestreo de tejido óseo de ovinos en pastoreo se realizó en la época de lluvias (junio-octubre) de 2006. La superficie del estado se dividió en cuatro zonas de acuerdo con la actividad agropecuaria tradicional de uso de suelo: Centro (C) (producción de henequén), Oriente (O) (ganadería), Poniente (P) (indefinida) y Sur (S) (agricultura).

Se obtuvieron muestras de la 12^a costilla de ovinos de pelo de tipo comercial localizados en predios de ovinocultores. Los animales no recibían suplementos minerales, pero en algunos predios eran alimentados esporádicamente con pollinaza, la cual es rica en minerales (Pacheco *et al.*, 2003). Para determinar el número total de muestras a obtener, se recolectaron previamente seis muestras al azar en cada zona de estudio. Los resultados de la varianza del contenido de Ca en hueso se multiplicaron por la confiabilidad (fijada en 95 %), dividiéndose el resultado entre un error aceptado del 5 % (Segura y Honhold, 2000); así se calculó que se requerían 139 muestras. Las muestras se tomaron según el número de ovinocultores en cada zona geográfica, registrados en el censo de la Asociación de Ovinocultores del Estado de Yucatán. Se seleccionaron y muestrearon al azar 25 predios ubicados en la zona Centro, 13 en la Oriente, seis en la Poniente y seis en la Sur.

En cada predio se seleccionaron al azar ovinos de cada una de las siguientes categorías, según su estado fisiológico: 1) destetes (D), machos destetados de entre tres y cinco meses de edad (n=44); 2) primaras (P), hembras de nueve a doce meses de edad (n=48); 3) adultas (A), hembras de más de 12 meses (n=47).

Se tomó una biopsia de la duodécima costilla del lado derecho, utilizando la técnica descrita por Little (1972). Las muestras

MATERIALS AND METHODS

This research was conducted in the state of Yucatán, whose climate is of the AW₀ type, according to the classification by Köppen (modified by García, 1973), which is drier than the warm sub-humid climates with summer rains and a drought season from January to May, with annual average temperature of 22 to 26 °C and annual rainfall of 600-1200 mm (Duch, 1998).

The bone tissue sampling in grazing sheep was performed in the rainy season (June-October) 2006. The surface of the state was divided into four zones according to the traditional agricultural land use activity: Centre (C) (production of sisal), East (O) (livestock), West (P) (undefined) and South (S) (agriculture).

Samples were collected from the 12th rib of hair sheep for commercial purpose of different breeds, located in farms of sheep breeders. The animals were not given mineral supplements, but in some farms they were sporadically fed with poultry litter, which is rich in minerals (Pacheco *et al.*, 2003). To determine the total number of samples to be obtained, six samples were previously collected at random in each study area. The variance results of the bone calcium content were multiplied by the reliability (set at 95 %), dividing the result by an accepted error of 5 % (Segura and Honhold, 2000); in this way 139 samples were estimated to be needed. The samples were taken according to the number of sheep breeders in each geographical area, as recorded in the census of the Sheep Breeders Association of Yucatán. Twenty five ranches were randomly selected and sampled in the Central zone, 13 in the East, six in the West and six in the South.

In each site sheep were randomly selected from the following categories, according to their physiological state: 1) weaned (D), males weaned between three and five months old (n=44); 2) yearlings (P), females from nine to twelve months old (n=48); 3) female adults (A), females over 12 months old (n=47).

A biopsy of the twelfth rib on the right side was taken using the technique described by Little (1972). Samples were placed in plastic containers in a solution of formaldehyde at 10 % for preservation. For analysis, approximately 0.5 g of bone were placed in a porcelain capsule, 1 mL of HCl solution added and they were subjected to a water bath. After approximately 10 min 3-5 drops of HCl Q. P. were added. The addition of acid was repeated twice as long as the sample solution remained in the water bath. Then the capsules were placed in an oven at 500 °C for 6 h or until obtaining gray ashes. They were left to cool, 0.5 mL of HCl (1:4) were added and the mixture was transferred to a beaker of 100 mL. Five mL of HCl were added and evaporated to dryness in a water bath in order to remove SiO₂. The residue was moistened with 2 mL of HCl; 50 mL of water were added and heated for a few minutes in a water bath. The sample was

se depositaron en recipientes de plástico en una solución de formaldehído al 10 % para su conservación. Para su análisis, se colocaron aproximadamente 0.5 g de hueso en una cápsula de porcelana, se añadió 1 mL de solución de HCl y se sometieron a baño maría. Después de 10 min aproximadamente se añadieron 3 a 5 gotas de HCl Q. P. Se repitió la adición de ácido hasta dos veces mientras la solución de la muestra permaneció en el baño maría. Luego las cápsulas se colocaron en una mufla a 500 °C por 6 h o hasta obtener un cenizado gris. Se dejaron enfriar, se agregó 0.5 mL de HCl (1:4) y se transfirió la mezcla a un vaso de precipitados de 100 mL. Se añadieron 5 mL de HCl y se evaporó a sequedad en baño maría con el propósito de eliminar SiO₂. El residuo se humedeció con 2 mL de HCl, se añadió 50 mL de agua y se calentó unos minutos en el baño maría. La muestra se transfirió a un matraz volumétrico de 100 mL, se enfrió bruscamente, se aforó hasta la marca agitando continuamente y se filtró. Las muestras fueron analizadas para medir su contenido de Ca, K, Cu y Fe, usando espectrofotometría de absorción atómica de flama en un equipo Perkin Elmer modelo AAnalyst 800 (Fick *et al.*, 1979). Los resultados se expresaron en base desengrasada y seca.

También se tomaron muestras de suelo de los mismos predios para su identificación y clasificación; se usó un muestreo en equis, con un punto central y cuatro extremos (Tejada y Carrasco, 1990). Las submuestras se integraron en una o dos muestras compuestas de 1 kg cuando se consideró que eran de un mismo tipo. Se clasificó el suelo de acuerdo con la recomendación de la FAO (1988): Cambisol, Litosol, Luvisol, Rendzina y Vertisol.

Los datos del contenido de Ca, K, Cu y Fe se analizaron según un diseño experimental completamente al azar con un arreglo tri factorial incluyendo los efectos de la zona geográfica (C, O, P y S), del estado fisiológico de los ovinos (D, P y A), del tipo de suelo (Cambisol, Litosol, Luvisol, Rendzina y Vertisol), las dobles y triple interacciones (Montgomery, 2004). El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \lambda_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\lambda)_{ik} + (\beta\lambda)_{jk} + (\tau\beta\lambda)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

donde, Y_{ijk} =el contenido de un mineral; μ =efecto del promedio global; τ_i =efecto del nivel i -ésimo del factor de zona geográfica; β_j =efecto del nivel j -ésimo del factor estado fisiológico de los ovinos; λ_k =efecto del nivel k -ésimo del factor del tipo de suelo; $(\tau\beta)_{ij}$ =efecto de la interacción entre τ_i y β_j ; $(\tau\lambda)_{ik}$ =efecto de la interacción entre τ_i y λ_k ; $(\beta\lambda)_{jk}$ =efecto de la interacción entre β_j y λ_k ; $(\tau\beta\lambda)_{ijk}$ =efecto de la interacción entre β_j , τ_i y λ_k ; ε_{ijk} =error aleatorio experimental.

Los datos se analizaron con el procedimiento GLM (SAS, 1988). Cuando se detectaron efectos significativos en alguna

transfirió a un matraz volumétrico de 100 mL, se enfrió bruscamente, se aforó hasta la marca agitando continuamente y se filtró. Las muestras fueron analizadas para medir su contenido de Ca, K, Cu and Fe, using spectrophotometry of flame atomic absorption on a Perkin Elmer AAnalyst 800 model equipment (Fick *et al.*, 1979). The results were expressed on a defatted and dry base.

Soil samples were also taken from the same lots for identification and classification. An X sampling method was used, with a central point and four corners (Tejada and Carrasco 1990). The subsamples were integrated into one or two samples composed of 1 kg when they were considered to be of a single type. Soil was classified according to the recommendation by FAO (1988): Cambisol, Litosol, Luvisol, Rendzina and Vertisol.

The data of the content of Ca, K, Cu and Fe were analyzed according to a completely randomized design with a tri factorial arrangement including the effects of the geographical area (C, O, P and S), the physiological state of the sheep (D, P and A), the type of soil (Cambisol, Litosol, Luvisol, Rendzina and Vertisol), the double and triple interactions (Montgomery, 2004). The statistical model was the following:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \lambda_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\lambda)_{ik} + (\beta\lambda)_{jk} + (\tau\beta\lambda)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

where Y_{ijk} =content of a mineral; μ =overall average effect, τ_i =effect of the i th level of the geographic area factor; β_j =effect of the j th level of the sheep physiological status factor; λ_k =effect of the k th level of the soil type factor; $(\tau\beta)_{ij}$ =interaction effect between τ_i and β_j ; $(\tau\lambda)_{ik}$ =interaction effect between τ_i and λ_k ; $(\beta\lambda)_{jk}$ =interaction effect between β_j and λ_k ; $(\tau\beta\lambda)_{ijk}$ =effect of the interaction between β_j , τ_i and λ_k ; ε_{ijk} =randomized experimental error.

The data analysis was done with the GLM procedure (SAS, 1988). When detecting significant effects in some variable, the averages were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). Also correlation analyses of all minerals were performed (Montgomery, 2004).

RESULTS AND DISCUSSION

The results of mineral content in sheep bone tissue, depending on the geographic location, are found in Table 1. There were only differences ($p \leq 0.05$) in the Cu content. The average content of Ca in sheep bone tissue in the five areas sampled was over 36 %, which is considered normal in ruminant bones (Fick *et al.*, 1979). However, the variation of data was very high, especially in sheep of the Central zone, where a high

variable, los promedios se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). También se realizaron análisis de correlación entre todos los minerales (Montgomery, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del contenido de minerales en el tejido óseo de ovinos, en función de la zona geográfica se encuentran en el Cuadro 1. Sólo hubo diferencias ($p \leq 0.05$) en el contenido de Cu. El contenido promedio de Ca en el tejido óseo de los ovinos en las cinco zonas muestreadas fue superior al 36 %, el cual es considerado normal en el hueso de rumiantes (Fick *et al.*, 1979). Sin embargo, la variación de los datos fue muy alta, sobre todo en los ovinos de la zona Centro, observándose un alto porcentaje de muestras (27 %) debajo de la concentración normal. Si bien en la zona Poniente se encontró el mayor porcentaje de muestras (33 %) abajo del valor normal, el número de predios en esta zona fue menor, y representa una baja población ovina. Los mayores valores de Ca se detectaron en la zona Oriente, donde se registró el menor porcentaje de muestras abajo del límite normal.

Contrariamente a las deficiencias de Ca aquí encontradas, atribuibles al consumo de forrajes con este

percentage of samples (27 %) were below the normal concentration. While in the West area the largest percentage of samples (33 %) were found to be below the normal value, the number of farms in this area was minimal and represents a reduced population of sheep. The highest Ca values were found in the East area, where the lowest percentage of samples below the normal limit was registered.

Contrary to the Ca deficiencies found here, due to consumption of forage with this deficit, Borges *et al.* (2008) point out that soil in Yucatán is rich in Ca. This may be because soils in this area are young, of marine origin. However, data in this study are consistent with those by Cabrera *et al.* (2009) who report Ca deficiencies in forages that grow in the northern area of the state of Quintana Roo. After working in the same farms sampled here, Vivas *et al.* (2009)^[5] conclude that in 34 % of the sampled forages the Ca content was lower than what sheep require. These data are consistent with the findings of this study.

The average content of K in all the areas sampled (Table 1) was significantly lower than 0.05 %, which is considered normal in the bone of ruminants (Fick *et al.*, 1979). The percentage of samples below this value ranged between 95 % and

Cuadro 1. Contenido de minerales en el hueso de ovinos en función de la zona geográfica en el estado de Yucatán.
Table 1. Mineral content in sheep bones according to the geographical area in the state of Yucatán.

Zona	Mineral	n	Media	Desviación estándar	Valor mínimo mínimo	Valor máximo máximo	Obs. menor al nivel normal [¶]
Centro	Ca %	72	41.3	11.8	14.0	70.9	27
	K %	57	0.01	0.01	0.00	0.08	95
	Cu ppm	73	0.69ab	0.50	0.07	2.73	99
	Fe ppm	74	4.83	3.51	0.11	16.4	100
Oriente	Ca	31	46.2	9.4	18.7	74.0	6
	K	26	0.01	0.00	0.00	0.02	100
	Cu	32	0.73ab	0.62	0.07	3.40	97
Poniente	Fe	32	3.85	3.13	0.63	16.4	97
	Ca	9	39.5	11.7	23.1	57.4	33
	K	8	0.01	0.00	0.00	0.02	100
Sur	Cu	9	0.97a	0.39	0.40	1.57	100
	Fe	9	5.13	5.10	0.63	15.8	100
	Ca	23	43.8	8.7	24.7	58.8	17
	K	19	0.01	0.01	0.00	0.05	96
	Cu	24	0.45b	0.26	0.07	1.07	100
	Fe	24	4.66	3.43	0.11	12.7	100

Valores con diferentes letras en una columna, son diferentes ($p \leq 0.05$) ❖ Values with different letters in a column are different ($p \leq 0.05$).

[¶] 36 % de Ca, 0.05 % de K, 15 ppm de Fe, 2-3 ppm de Cu (Fick *et al.*, 1979). EEM para Ca=0.94; K=0.001; Cu=0.058; Fe=0.39 ❖

[§] 36 % Ca, 0.05 % K, 15 ppm Fe, 2-3 ppm Cu (Fick *et al.*, 1979). EEM for Ca=0.94; K=0.001; Cu=0.058; Fe=0.39.

déficit, Borges *et al.* (2008) señalan que el suelo de Yucatán es rico en Ca, lo cual puede deberse a que son suelos jóvenes de origen marino. Sin embargo, los datos del presente estudio coinciden con los de Cabrera *et al.* (2009), quienes reportan deficiencias de Ca en forrajes que crecen en la zona norte del estado de Quintana Roo. Después de trabajar en los mismos predios aquí muestreados, Vivas *et al.* (2009)^[5] concluyen que en 34 % de los forrajes muestreados el contenido de Ca fue menor al requerimiento de los ovinos. Estos datos coinciden con lo encontrado en este estudio.

El contenido promedio de K en todas las zonas muestreadas (Cuadro 1) fue notoriamente inferior a 0.05 %, el cual es considerado normal en el hueso de rumiantes (Fick *et al.*, 1979). El porcentaje de muestras debajo de este valor osciló entre 95 % y 100 %. Según Borges *et al.* (2008) los suelos del estado de Yucatán tienen una gran variabilidad en su contenido de K (de 0.88 a 3.02 cmol₍₊₎ kg⁻¹), posiblemente debido a la naturaleza y proporción de los coloides presentes. En los suelos de zonas ganaderas de la región norte de Quintana Roo (Cabrera *et al.*, 2009) el contenido de K también es bajo.

El contenido promedio de Cu en todas las zonas fue inferior a 2 ppm, sugerido por Fick *et al.* (1979) como normal. El porcentaje de muestras debajo de este valor osciló entre 97 % y 99 %. El mayor contenido de Cu en la costilla de los ovinos se encontró en la zona Poniente y el menor en la Sur ($p \leq 0.05$). El bajo contenido de Cu observado en el hueso de ovinos confirmó el reporte por Millán *et al.* (1990a) sobre el contenido marginal de este mineral en el estado de Yucatán.

Todos los valores de Fe fueron inferiores a 15 ppm, concentración considerada normal en el hueso de rumiantes (Fick *et al.*, 1979). Esta misma deficiencia fue reportada por Cabrera *et al.* (2009) en forrajes y suelos del estado de Quintana Roo. Sin embargo, Millán *et al.* (1990a) informan que el contenido de Fe en los forrajes fue muy alto en la zona oriente de Yucatán.

La carencia de Ca, K y Cu en el hueso de los ovinos pudo deberse a su nivel marginal en los forrajes, como lo cuantificaron Vivas *et al.* (2009)^[5] en los mismos predios. Por tanto, es necesario tomar

100 %. According to Borges *et al.* (2008), soils in the state of Yucatán have great variability in the content of K (from 0.88 to 3.02 cmol₍₊₎ kg⁻¹), possibly due to the nature and proportion of the colloids present. In the soils of the pastoral areas located in the north of Quintana Roo (Cabrera *et al.*, 2009) K content is also low.

The average content of Cu in all areas was less than 2 ppm, suggested as normal (Fick *et al.*, 1979). The percentage of samples below this value ranged between 97 % and 99 %. The highest content of Cu in the rib of sheep was found in the Western area and the lowest in the South ($p \leq 0.05$). The low Cu content observed in sheep bone confirmed the report by Millán *et al.* (1990a) about the marginal content of this mineral in the state of Yucatán.

All the values of Fe were below 15 ppm, a concentration considered normal in the bone of ruminants (Fick *et al.*, 1979). This same deficiency was reported by Cabrera *et al.* (2009) in forage and soils of the state of Quintana Roo. However, Millán *et al.* (1990a) indicate that the content of Fe in forages was very high in the eastern area of Yucatán.

The reduced amount of Ca, K and Cu in sheep bone could be due to their marginal level in forages, as quantified by Vivas *et al.* (2009)^[5] in the same lots. It is therefore necessary to take measures to correct the deficiencies found through this research, providing the cattle with mineral salts fortified with K, Cu and Fe in all the areas, and Ca in the Central and Western areas.

The results of mineral content in bone in terms of the physiological state are displayed in Table 2. The content of Ca in bone was higher in groups adults and yearlings compared to weaned ($p \leq 0.05$). Only in the group of weaned sheep the average Ca in bone was less than 36 %, a limit considered normal (Fick *et al.*, 1979) This may be because the young sheep had not yet completed their bone growth, unlike the yearlings and adults. The results of K were higher in the weaning group compared to the other two; but in all cases these values were well below 0.05 %, considered normal (Fick *et al.*, 1979). The content of Cu in bone in almost all cases was less than 3 ppm, a situation similar to the Fe content which was well below the normal content (15 ppm; Fick *et al.*, 1979).

⁵ Vivas, M. E. F., J. G. Rosado R., A. F. Castellanos R., M. Heredia A., y E.J. Cabrera T. 2009. Contenido mineral en forrajes de predios de ovinocultores del Estado de Yucatán. Reporte Técnico. Proyecto CONACyT-SAGARPA, clave 12284. Datos no publicados.

medidas para corregir las deficiencias encontradas en la presente investigación, suministrando al ganado sales minerales fortificadas con K, Cu y Fe, en todas las zonas, así como Ca en las zonas Centro y Poniente.

Los resultados del contenido de minerales en hueso en función del estado fisiológico se encuentran en el Cuadro 2. El contenido de Ca en hueso fue mayor en los grupos adultos y primales en comparación con el destete ($p \leq 0.05$). Sólo en los ovinos del grupo destete el promedio de Ca en hueso fue inferior a 36 %, considerado como límite normal (Fick *et al.*, 1979). Esto puede deberse a que los ovinos jóvenes no habían terminado aún su desarrollo óseo, a diferencia de primales y adultas. Los resultados de K fueron mayores en el grupo de destetes con comparación con los otros dos; sin embargo, en todos los casos estos valores fueron notoriamente inferiores al 0.05 %, considerado normal (Fick *et al.*, 1979). El contenido de Cu en hueso, en casi todos los casos, fue menor a 3 ppm, situación similar al contenido de Fe que fue muy inferior al contenido normal (15 ppm; Fick *et al.*, 1979).

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del contenido de minerales en hueso de ovinos en función del tipo de suelo. No se encontraron diferencias ($p > 0.05$) en las concentraciones de los minerales analizados en hueso entre tipos de suelo.

El promedio de Ca encontrado en los huesos de ovinos en pastoreo en todos los tipos de suelos (Cuadro 3) fue mayor a la concentración normal (36 %; Fick *et al.*, 1979). Los suelos Luvisoles de los municipios de Tekax y Santa Elena (Sur), Yaxcabá (Centro)

The results of bone mineral content of sheep on the basis of the soil type are shown in Table 3. No differences were found ($p > 0.05$) in the concentrations of minerals analyzed in bone among soil types.

The average Ca found in the bones of grazing sheep in all soil types (Table 3) was higher than the normal concentration (36 %; Fick *et al.*, 1979). Luvisol soils from the municipalities of Tekax and Santa Elena (South), Yaxcabá (Center) and Calotmul (East) showed the highest content of Ca (45.9 %). In contrast, the lowest content (39.7 %) was recorded in the Cambisols sampled in the Abalá municipality and Lithosols (39.9 %) in the municipalities of Dzilam González, Mocochoá, Chocholá, Mérida, Teya and Hocabá, all located in the Central area.

The content of K in sheep bone in terms of the type of soil where the production units were located, was less than 0.05 %, as suggested by Fick *et al.* (1979). The samples of rib with the highest content of K (0.02 %) were from sheep grazing in Cambisol soils, in the municipalities of Ticul and Chemax. In contrast, the lowest K content (0.009 %) was observed in bone samples of sheep grazing in Vertisols, in the municipalities of Conkal and Peto. The differences observed are not important since in all cases the concentrations of K were below the normal values of bone tissue in sheep.

The average content of Cu in bone of sheep grazing on all types of soil was below normal (2

Cuadro 2. Contenido de minerales en el hueso de ovinos según su estado fisiológico en el estado de Yucatán.

Table 2. Mineral content in sheep bones according to their physiological state in the state of Yucatán.

Etapa fisiológica	Mineral	n	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Adultos	Ca %	46	47.6a	10.6	23.1	74.0
	K %	39	0.01b	0.00	0.00	0.05
	Cu ppm	47	0.64	0.45	0.07	2.23
	Fe ppm	47	4.31	3.50	0.11	14.3
Destetes	Ca	42	34.8b	9.0	16.3	48.6
	K	31	0.02a	0.01	0.00	0.08
	Cu	42	0.69	0.48	0.07	2.73
	Fe	42	4.23	2.92	0.11	11.6
Primales	Ca	47	45.0a	8.7	14.0	61.1
	K	40	0.01b	0.00	0.00	0.05
	Cu	49	0.70	0.57	0.07	3.40
	Fe	49	5.19	3.97	0.11	16.4

Valores con diferentes letras en una columna son diferentes ($p \leq 0.05$) ❖ Values with different letters in a column are different ($p \leq 0.05$).

Cuadro 3. Contenido de minerales en el hueso de ovinos en función del tipo de suelo del estado de Yucatán.
Table 3. Mineral content in sheep bones depending on the type of soil in the state of Yucatán.

Suelo	Mineral	n	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Cambisol	Ca %	18	39.7	10.1	18.7	53.7
	K %	15	0.02	0.02	0.01	0.07
	Cu ppm	18	0.56	0.37	0.07	1.07
	Fe ppm	18	4.52	4.17	0.11	16.4
Litosol	Ca	27	39.9	10.1	20.2	57.9
	K	22	0.01	0.01	0.00	0.04
	Cu	28	0.72	0.55	0.07	2.73
	Fe	29	4.65	3.89	0.11	16.4
Luvisol	Ca	20	45.9	9.10	22.9	58.8
	K	12	0.02	0.01	0.01	0.03
	Cu	20	0.60	0.50	0.07	2.23
	Fe	20	4.76	3.38	1.16	14.3
Rendzina	Ca	60	43.7	11.5	14.0	70.9
	K	54	0.01	0.01	0.00	0.08
	Cu	61	0.76	0.54	0.07	3.40
	Fe	61	4.26	3.18	0.11	15.8
Vertisol	Ca	10	44.2	13.1	25.5	74.0
	K	7	0.01	0.00	0.00	0.02
	Cu	11	0.46	0.29	0.23	1.23
	Fe	11	6.18	3.57	1.16	12.7

y Calotmul (Oriente) mostraron el mayor contenido de Ca (45.9 %). En cambio, el menor contenido (39.7 %) fue en los suelos Cambisoles muestreados en el municipio de Abalá y los Litosoles (39.9 %) de los municipios de Dzilam González, Mocochoá, Chocholá, Mérida, Teya y Hocabá; todos ubicados en la zona Centro.

El contenido de K en el hueso de ovinos en función del tipo de suelo donde se ubicaban las unidades de producción, fue menor al 0.05 %, sugerido por Fick *et al.* (1979). Las muestras de costilla con el mayor contenido de K (0.02 %) fueron de ovinos que pastoreaban suelos Cambisoles, en los municipios de Ticul y Chemax. En cambio, el menor contenido de K (0.009 %) se obtuvo en muestras de hueso de ovinos pastoreando en suelos Vertisoles, en los municipios de Conkal y de Peto. Las diferencias encontradas no son importantes dado que en todos los casos las concentraciones de K fueron inferiores a los valores normales indicados para tejido óseo en ovinos.

El contenido promedio de Cu en hueso de ovinos que pastoreaban en todos los tipos de suelo fue inferior al normal (2 ppm). De manera similar, para todos los tipos de suelo, el contenido promedio de Fe fue menor al normal (15 ppm); las concentraciones más bajas (3.8 ppm de Fe) se encontraron en suelos

ppm). Similarly, in all types of soil, the average content of Fe was lower than normal (15 ppm); the lowest concentrations (3.8 ppm Fe) were found in Luvisols, which also had the highest content of Ca.

The interaction of soil with the physiological status of sheep had an effect ($p \leq 0.05$) on the content of Fe because the rib samples of yearling sheep recorded the highest Fe concentration in the different types of soil, as compared to adult and weaned sheep. The highest values were found in adult sheep and in Luvisols. There was no effect ($p > 0.05$) of the triple interaction among sampling zone, physiological state and soil type.

The content of Cu in bone was related to K ($R=0.18$; $p \leq 0.05$) and Fe ($R=0.27$; $p \leq 0.01$). Apparently, the negative association between Cu and Fe in the gastrointestinal tract (Bremmer *et al.*, 1987) does not appear in bone tissue. There were no correlations between the other minerals.

The results presented in this study, along with those obtained from forages and soils in the same areas, could be used to design formulas of mineral supplements to correct the imbalances shown here. This has been applied to cattle in Yucatán (Millán *et al.*, 1990b; Segura and Castellanos, 1999), as well as in some countries (Mc Dowell, 1996).

Luvisoles, que también tuvieron el mayor contenido de Ca.

Hubo efecto ($p \leq 0.05$) de la interacción suelo con estado fisiológico de los ovinos en el contenido de Fe, atribuible a que las muestras de costilla de las ovejas primaras tuvieron la mayor concentración de Fe en los diferentes tipos de suelo, comparado con las ovejas adultas y los destetes. Los valores más altos se encontraron en adultas y en Luvisoles. No se encontró efecto ($p > 0.05$) de la triple interacción entre zona de muestreo, con el estado fisiológico y con el tipo de suelo.

El contenido de Cu en el hueso estuvo relacionado con el de K ($R=0.18$; $p \leq 0.05$) y con el de Fe ($R=0.27$; $p \leq 0.01$). Aparentemente, la asociación negativa entre el Cu y el Fe en el tubo digestivo (Bremmer *et al.*, 1987) no se manifiesta en el tejido óseo. No hubo correlaciones entre los otros minerales.

Los resultados aquí presentados, junto con aquellos obtenidos de forrajes y suelos en las mismas zonas, pudieran servir para diseñar formulaciones de minerales que corrijan los desequilibrios aquí mostrados. Ello ha sido realizado para bovinos tanto en Yucatán (Millán *et al.*, 1990b; Segura y Castellanos, 1999) y en algunos países (Mc Dowell, 1996).

CONCLUSIONES

El análisis de minerales de tejido óseo de ovinos del estado de Yucatán indicó que existen deficiencias de Ca en las zonas Centro y Poniente, que afectan con mayor importancia a los ovinos jóvenes (destetes) donde la deficiencia fue marginal. También hubo carencias graves de Cu y una inesperada deficiencia de K y de Fe en el hueso de los ovinos. El tipo de suelo no afectó el contenido de minerales en las cuatro zonas geográficas, tampoco en las tres categorías de ovinos, ni en los cinco tipos de suelo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto CONACyT-SAGARPA, clave 12284.

LITERATURA CITADA

Arellano, S. C. 2006. Análisis integral de los factores que intervienen en los sistemas de producción ganadera. *In*: Castellanos, R. A. F., y C. Arellano. 2006. Tecnología para la

CONCLUSIONS

The analysis of minerals from bone tissue of sheep in the state of Yucatán pointed to Ca deficiencies in the Central and West areas, which mostly affect young sheep (weaning); yet these deficiencies were actually marginal. There were severe deficiencies of Cu and unexpectedly of K and Fe in sheep bone. Soil type did not affect the mineral content in the four geographical areas, neither in the three categories of sheep or five types of soil.

—End of the English version—



- Producción de Ovinos de pelo. Ed. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México pp: 29-54.
- Bores, Q. R., y A. F. Castellanos R. 2003. Importancia de los minerales en la alimentación de los rumiantes en Yucatán. Publicación Técnica. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Pecuarias-CONACyT-SISIERRA. Mérida, Yucatán, México. pp: 10-11.
- Borges, G. L., M. Soria, V. Casanova, E. Villanueva, y G. Pereyda. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia* 42: 21-27.
- Bremmer, I., W. R. Humpheries, M. Phillip, M. J. Walker, and P. C. Morrice. 1987. Iron induced copper deficiency in calves: Dosis response relationships and interactions with molybdenum and sulphur. *Anim. Prod.* 45: 403-414.
- Cabrera, T. E., E. Sosa, A. F. Castellanos, A. Gutiérrez, y J. Ramírez. 2009. Concentración mineral en pastos y suelo de zonas ganaderas del Estado de Quintana Roo. *Vet. Méx.* 40: 167-179.
- Cetz, U. F. H., T. J. I. Cervantes, D. E. Sauri, Q. R. A. Bores, and R. A. F. Castellanos. 2005. Impacto del empleo de microminerales quelatados en la alimentación de rumiantes. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 17, Article #97. Retrieved September 8, 2005, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/9/cetz17097.htm>
- Duch, G. J. 1998. Los regímenes climáticos. *In*: La conformación territorial del Estado de Yucatán. Univ. Autónoma de Chapingo, Centro Regional Península de Yucatán. México. pp: 107-231.
- FAO, 1988. FAO/Unesco Soil Map of the World. Revised legend, with corrections and updates. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome.
- Fick, K. R., L. R. Mc Dowell, P. H. Miles, M. S. Wilkinson, J. D. Kunk, and J. H. Conrad. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Gainesville. Depto. Ciencia Animal. Universidad de Florida. USA. pp: 701.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, México. Edición UNAM, pp: 33-34.
- Gooneratne, S. R., H. W. Symonds, J. V. Bailey, and D. A. Christensen. 1994. Effects of dietary copper, molybdenum

- and sulfur on biliary copper and zinc excretion in Simmental and Angus cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 315-325.
- Gueguen, L., M. Lamand, and F. Meschy. 1988. Nutrition minérale. *In: Jarrige, J. (ed). Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins.* Paris, France: INRA. pp: 95-106.
- Little, D. A. 1972. Bone biopsy in cattle and sheep for studies of phosphorus status. *Aust. Vet. J.* 48: 668-670.
- McDowell, L. R. 1996. Feeding minerals to cattle on pasture. *Anim. Feed Sci. Tech.* 60(3): 247-271.
- Millán, C. H., G. A. Aguirre, I. Escamilla, y A. Castellanos. 1990a. Perfil mineral del pasto Guinea en el oriente de Yucatán. *Vet. Méx.* 21(4): 399-402.
- Millán, C. H., J. Ricaud, y A. F. Castellanos. 1990b. Evaluación de dos suplementos minerales para bovinos en pastoreo en Yucatán. *Téc. Pec. Méx.* 28(2): 111-115.
- Montgomery, D.C. 2004. *Diseño y Análisis de Experimentos.* México, D. F. Limusa Wiley (2ª Ed). México. pp: 75-81.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle.* Seventh revised edition. Update 2000. National Research Council. National Academy of Sciences. Washington, DC. USA. pp: 54-74.
- Pacheco, A. J. A., J. L. Rosciano G., W. A. Villegas C., V. M. Alcocer V., y A. F. Castellanos R. 2003. Cuantificación del contenido de cobre y otros minerales en pollinizas producidas en el Estado de Yucatán. *Téc. Pec. Méx.* 41(2): 197-207.
- SAS. 1988. *SAS/STAT. User's Guide: Statistics.* Cary, NC, USA.
- Segura, C. V. M., y A. F. Castellanos. 1999. Efecto de la suplementación fosforada sobre la ganancia de peso de bovinos en pastoreo en Yucatán, México. *Vet. Méx.* 30: 257-262.
- Segura, C. J. C., y N. Honhold. 2000. *Métodos de muestreo para la producción y la salud animal.* Mérida, Yucatán: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. México. pp: 21-34.
- SIAP. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.ciap.gob.mx/index>. Consultada julio de 2009.
- Tejada, H. I., y B. Carrasco. 1990. La toma de muestra, su conservación y envío al laboratorio. *In: Castellanos R. A. F., G. Llamas, y A. Shimada M. (eds). Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México.* México, D.F. pp: 7-12.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2001. *Mineral Nutrition of Livestock.* Third Edition. CABI Publishing. London. pp: 283-342.