

PERFIL E INTERRELACIÓN MINERAL EN AGUA, FORRAJE Y SUERO SANGUÍNEO DE BOVINOS DURANTE DOS ÉPOCAS EN LA HUASTECA POTOSINA, MÉXICO

MINERAL PROFILE AND INTERRELATIONSHIP IN WATER, FORAGE AND BLOOD SERUM OF BEEF CATTLE DURING TWO SEASONS IN THE HUASTECA POTOSINA, MÉXICO

Rodolfo Vieyra-Alberto¹, Ignacio A. Domínguez-Vara^{1*}, Genaro Olmos-Oropeza³,
Juan F. Martínez-Montoya³, José L. Borquez-Gastelum¹, Jorge Palacio-Núñez³,
Jorge A. Lugo de la Fuente², Ernesto Morales-Almaráz¹.

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; ²Facultad de Ciencias. Campus Universitario "El Cerrillo". Universidad Autónoma del Estado de México. 50090. Toluca, México. ³Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. 7862. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. (igy92@hotmail.com).

RESUMEN

En la Huasteca Potosina no se han realizado diagnósticos integrales sobre los minerales en los bovinos de doble propósito en pastoreo a través del año, por lo cual el objetivo del presente estudio fue determinar la concentración e interrelación de minerales en agua, forraje y suero de bovinos de doble propósito. Para ello, se recolectaron 84 muestras de agua, 99 muestras de forraje y suero de 463 bovinos en 17 unidades de producción de la Huasteca Potosina, en la época húmeda (agosto y septiembre) y seca (abril y mayo) del 2008. Las concentraciones de Ca, P, Mg, K, Na, Fe, Zn, Cu y Mn se midieron en agua, forraje y suero. El diseño experimental fue completamente al azar y los datos se analizaron con el modelo lineal general. Los efectos de unidad de producción (UP), época (Ep), edad de los bovinos (Ed) y sus interacciones fueron evaluados. En el agua hubo mayor ($p \leq 0.01$) contenido de Ca, Mg, K, Na, Fe y Zn en la época seca que en la húmeda. En los forrajes, las concentraciones de Ca, P, Mg, K y Zn fueron deficientes en ambas épocas. En el suero el contenido de Ca, Mg, K, Na y Cu fue mayor en la época seca que en la húmeda, y en el suero de los bovinos jóvenes hubo más P ($p \leq 0.05$) que en los adultos. La interacción UP*Ep afectó ($p \leq 0.01$) el contenido de Ca, P, Mg, K, Na y Cu en el suero; la interacción UP*Ed influyó ($p \leq 0.01$) en la concentración de Ca; y los bovinos tuvieron deficiencia de Ca, Na, Cu, Fe y Zn durante la época de lluvias. Con excepción del P en la época seca ($R^2 = 0.64$;

ABSTRACT

In the Huasteca Potosina, Mexico, there have been no comprehensive diagnostics on minerals in dual-purpose cattle grazing throughout the year, so the aim of this study was to determine the concentrations and interrelationships of minerals in water, forage and serum of dual-purpose cattle. For this purpose, we collected 84 samples of water, 99 samples of forage and 463 samples of serum from cattle in 17 production units of the Huasteca Potosina, during the wet season (August and September) and dry season (April and May) of 2008. The concentration of Ca, P, Mg, K, Na, Fe, Zn, Cu and Mn were measured in water, forage and serum. We used a completely randomized experimental design, and analyzed data with the general linear model. The effects of production unit (PU), season (S), cattle age (CE) and their interactions were evaluated. A higher ($p \leq 0.01$) concentration of Ca, Mg, K, Na, Fe and Zn was found in water in the dry season than in the wet season. In forage, the concentrations of Ca, P, Mg, K and Zn were deficient in both seasons. In serum, the content of Ca, Mg, K, Na and Cu was higher ($p \leq 0.05$) in the dry season than in the wet season; and in young cattle there was more P than in adult cattle. The UP*S interaction affected ($p \leq 0.01$) the content of Ca, P, Mg, K, Na and Cu in serum; the interaction UP*CE influenced ($p \leq 0.01$) the concentration of Ca; and cattle showed deficiencies in Ca, Na, Cu, Fe and Zn during the rainy season. With the exception of P in dry season ($R^2 = 0.64$; $p \leq 0.01$), R^2 was higher than 0.90 ($p \leq 0.01$) to predict serum concentrations of Ca, Mg, K, Na and Cu in the two seasons, and P, Fe and Zn in the wet season. Cattle of the Huasteca Potosina have mineral imbalances, especially during the rainy season; and the grazing areas do not provide adequate levels of minerals to meet their needs.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2012. Aprobado: noviembre, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 121-133. 2013.

$p \leq 0.01$), el R^2 fue mayor a 0.90 ($p \leq 0.01$) para predecir las concentraciones séricas de Ca, Mg, K, Na y Cu en ambas épocas y de P, Fe y Zn en la época húmeda. Los bovinos de doble propósito de la Huasteca Potosina presentan desequilibrios minerales, principalmente durante la época de lluvias, y las áreas de pastoreo no proveen los minerales suficientes para cubrir sus necesidades.

Palabras clave: minerales, bovinos, forrajes, época, Huasteca Potosina.

INTRODUCCIÓN

El territorio mexicano tiene 1 964 375 km² (INEGI, 2010), con 32 307 071 bovinos, de los cuales 92.7 % son productores de carne (SIAP-SAGARPA, 2011). El estado de San Luis Potosí ocupa el lugar 14 con 800 704 bovinos y está dividido en cuatro zonas geográficas: Altiplano, Centro, Medio y Huasteca (INAFED, 2005); 51.4 % de la ganadería se concentra en la Huasteca Potosina y predomina el sistema de pastoreo extensivo (INEGI, 2007). Los problemas nutricionales incluyen desequilibrios minerales de los forrajes que se reflejan en una producción sub óptima; los bovinos en pastoreo con poco o ningún suplemento mineral presentan trastornos reproductivos y de salud (McDowell y Arthington, 2005).

Aproximadamente 50 % de las enzimas del organismo requieren de un mineral para su funcionamiento bioquímico (Waldron *et al.*, 2009). La deficiencia o exceso prolongado de un mineral cambia su concentración en tejidos y fluidos corporales a valores fuera de los límites permisibles (Underwood y Suttle, 1999). En México, los estudios sobre minerales en agua, forraje, tejidos y fluidos de rumiantes en producción extensiva muestran diferencias entre unidad de producción (UP), épocas, edades y condición corporal del animal. En la región templada, los forrajes son bajos en Ca, P, Mg, Na, Cu, Zn y Se (Morales *et al.*, 2007; Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008); en la región árida hay carencia de P (Armienta, 1995); en las regiones tropical y sub tropical hay deficiencias de Ca, P, Mg, Na, Cu, Mn, Zn y Se (Cabrera *et al.*, 2009), de Ca, K, Cu y Zn en forrajes (Vivas *et al.*, 2011), de Ca, K, Cu y Fe en ovinos (Turriza-Chan *et al.*, 2010), y de Cu y Zn en cabras (Vázquez *et al.*, 2011); y estos desequilibrios minerales podrían afectar la

Key words: minerals, cattle, forages, season, Huasteca Potosina.

INTRODUCTION

The Mexican territory is 1 964 375 km² (INEGI, 2010), with 32 307 071 cattle, of which 92.7 % are for meat production (SIAP-SAGARPA, 2011). The state of San Luis Potosí with 800 704 cattle occupies place 14 and is divided into four geographical areas: Highlands, Central Area, Middle Area and the Huasteca (INAFED, 2005); 51.4 % of livestock is concentrated in the Huasteca Potosina, where the extensive grazing system prevails (INEGI, 2007). Nutritional problems include forage mineral imbalances that are reflected in a suboptimal production; so cattle grazing with little or no mineral supplement show health and reproductive disorders (McDowell and Arthington, 2005).

Approximately 50 % of the animal body enzymes require a mineral for biochemical operation (Waldron *et al.*, 2009). Prolonged deficiency or excess of a mineral changes its concentration in tissues and body fluids to values outside permissible limits (Underwood and Suttle, 1999). In Mexico, studies about minerals in water, forage, ruminant tissues and fluids in extensive production systems show differences between production units (PU), seasons, ages and body condition of the animal. In temperate region, forages are low in Ca, P, Mg, Na, Cu, Zn and Se (Morales *et al.*, 2007; Domínguez-Vara and Huerta-Bravo, 2008); in arid region, there is lack of P (Armienta, 1995); in tropical and subtropical regions, there are deficiencies of Ca, P, Mg, Na, Cu, Mn, Zn and Se (Cabrera *et al.*, 2009), of Ca, K, Cu and Zn in forage (Vivas *et al.*, 2011), of Ca, K, Cu and Fe in sheep (Turriza-Chan *et al.*, 2010), and of Cu and Zn in goats (Vázquez *et al.*, 2011); these mineral imbalances could affect production efficiency. In the Huasteca Potosina there have been no studies on mineral content in water, forage and serum of dual-purpose cattle. Therefore, the aim of this research was to study the concentration and interrelationship of minerals in water, forage and bovine serum in 17 PU of the Huasteca Potosina, Mexico, during the wet season (August and September) and dry season (April and May) of 2008. This would enable to have a tool that may contribute to predict the mineral content in grazing cattle serum from the concentration of

eficiencia productiva. En la Huasteca Potosina no se han realizado estudios de minerales en el agua, los forrajes y el suero de bovinos de doble propósito. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue estudiar la concentración e interrelación mineral en agua, forraje y suero de bovinos en 17 UP de la Huasteca Potosina, México, durante la época húmeda (agosto y septiembre) y seca (abril y mayo) del 2008. Esto permitiría tener una herramienta que contribuya a predecir el contenido mineral en el suero de los bovinos en pastoreo con las concentraciones de minerales encontradas en el agua, el forraje y el suero sanguíneo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características agroecológicas de las unidades de producción

El número de UP se obtuvo a través del sistema de información geográfico (SIG; ArcView 3.3 y Arc/info 9.2), con mapas de tipo de suelo, geología, fisiografía, uso de suelo, vegetación, clima y áreas inundables. El SIG proyectó una malla de 10 km donde se cruzaron las líneas y con ayuda de personal técnico se identificaron 17 UP con producción de bovinos de doble propósito distribuidas en los municipios de Tamuín (7 UP), Ébano (6 UP) y San Vicente Tancuayalab (4 UP) de la Huasteca Potosina, que pertenecen a la provincia Llanura Costera del Golfo Norte, subprovincia Llanuras y Lomeríos.

El clima es cálido sub húmedo (Aw), dividido en los sub tipos: 1) Aw0 (68.9 %) con precipitación pluvial anual de 900 ± 100 mm, 2) Aw1 (29.9 %) con 1100 ± 100 mm, y 3) Aw2 (1.16 %) con 1200 a 1500 mm (García, 1987). La temperatura media anual es 25 ± 1 °C. La altitud va de 820 m en la sierra el Abra-Tanchipa a 5 m en la llanura aluvial (INEGI, 2002).

El promedio de superficie de las UP es 107.4 ± 75.3 ha, del cual alrededor de 68 % se usa para pastoreo, 19.7 % es vegetación de especies nativas, 8 % para uso agrícola, el resto lo ocupa el área urbana y los cuerpos de agua. Las especies predominantes de forrajes consumidos por el ganado en la zona son: *Cynodon nlemfluencis* (31.3 %), *Brachiaria* spp. (14.1 %), *Rhynchelytrum repens* (13.1 %), *Cynodon dactylon* (9.2 %); en menor cantidad (32.3 %) *Leucaena leucocephala*, *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*, *Saccharum officinarum*, *Digitaria eriantha*, *Sorghum vulgare*, *Zea mays*, *Guazuma* sp., *Acacia* sp. y *Prosopis* sp. Tres UP usan *Leucaena leucocephala* y cinco UP dan *S. officinarum* como complemento alimenticio en el establo.

minerals found in water, soil, forage and blood serum.

MATERIALS AND METHODS

Agroecological characteristics of the production units

The number of PU was obtained through the geographic information system (GIS Arc View 3.3 and Arc/Info 9.2), with maps of soil type, geology, physiography, land use, vegetation, climate and flood-prone areas. The GIS projected a network of 10 km of crossing lines, and with the support given by technical staff we identified 17 UP where dual-purpose cattle grazed, distributed in the municipalities of Tamuín (7 PU), Ébano (6 PU) and San Vicente Tancuayalab (4 PU) of the Huasteca Potosina, which belong to Llanura Costera North Gulf province, Llanuras y Lomeríos sub-province.

The climate is warm subhumid (Aw), divided into subtypes: 1) Aw0 (68.9 %) with an annual rainfall of 900 ± 100 mm, 2) Aw1 (29.9 %) with 1100 ± 100 mm, and 3) Aw2 (1.16 %) with 1200-1500 mm (García, 1987). The average annual temperature is 25 ± 1 °C. Altitude ranges from 820 m in the sierra Abra-Tanchipa to 5 m in the flood plain (INEGI, 2002).

The average area of PU is 107.4 ± 75.3 ha, of which about 68 % is used for cattle grazing; 19.7 % of the area is covered with native species vegetation; 8 % for agricultural use; and the rest is occupied by urban areas and water bodies. The predominant species of forage consumed by cattle in the area are: *Cynodon nlemfluencis* (31.3 %), *Brachiaria* spp. (14.1 %), *Rhynchelytrum repens* (13.1 %), *Cynodon dactylon* (9.2 %); to a lesser extent (32.3 %) *Leucaena leucocephala*, *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*, *Saccharum officinarum*, *Digitaria eriantha*, *Sorghum vulgare*, *Zea mays*, *Guazuma* sp., *Acacia* sp. and *Prosopis* sp. Three PU use *Leucaena leucocephala* and five PU provide *S. officinarum* as a food supplement during animal confinement.

Cattle and management

The average size of herds was 94 ± 57 cattle prevailing groups of breed crosses of *Bos indicus* with Brown Swiss, Simmental, Charolais, Santa Gertrudis, Angus and Limousin. Blood samples were classified according to the age of bovines as young (6-15 months) and adults (over 15 months). Grazing systems were rotational or continuous, with little or no mineral supply. In both seasons, different degrees of malnutrition in cattle were identified, such as alopecia, hair depigmentation, emaciation, fatigue and lameness, which might be related to mineral imbalances.

Bovinos y manejo

El tamaño medio de los hatos es 94 ± 57 bovinos y predominan los grupos raciales de cruces de razas *Bos indicus* con Pardo Suizo, Simmental, Charolais, Santa Gertrudis, Angus y Limousin. Las muestras de sangre se clasificaron de acuerdo con la edad del bovino en jóvenes (6 a 15 meses) y adultos (mayores de 15 meses). Los sistemas de pastoreo son rotacionales o continuos, con escaso o nulo suministro de minerales. En ambas épocas se identificó distinto grado de desnutrición en los bovinos, como alopecia, despigmentación, emaciación, fatiga y cojeras, que podrían estar relacionados con desequilibrios minerales.

Procedimientos de muestreo y análisis químicos

En la época seca (abril y mayo) y húmeda (agosto y septiembre) del 2008 se recolectaron, respectivamente, 40 y 44 muestras de agua (100 mL) de jagüeyes, estanques, ríos y norias donde beben los bovinos. Mediante la técnica de pastoreo simulado (hand plucking; Wayne, 1964) se recolectaron 50 y 49 muestras (500 g) de los forrajes que consume el ganado; y 252 y 211 muestras de sangre (14 mL) y 252 y 211 muestras de sangre (14 mL) elegidas al azar, de los cuales 292 muestras correspondieron a vacas y 171 a becerros. El agua se acidificó con HNO_3 ; los forrajes se secaron a 60°C en estufa de aire forzado; la sangre se obtuvo por punción de la vena coccígea, se dejó reposar, se extrajo el suero y se conservó en congelación.

La extracción de minerales en agua fue con la técnica APHA-AWWA-WEF (1996), en el forraje por la técnica de Allan (1971), y en suero con la metodología de Fick *et al.* (1979). El análisis de Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn y Co se realizó por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer, 3110), el Na y K por flammómetro (Corning, 410) y el P se determinó por colorimetría en espectrofotómetro de luz ultravioleta (Perkin Elmer, modelo Génesis 20).

Análisis estadístico

El modelo estadístico consideró el efecto de época para los datos de el agua y el forraje; los datos de los forrajes se clasificaron en gramíneas y leguminosas, y además árboles y arbustos; para los datos de suero se consideró los efectos de UP, época, edad de los bovinos e interacciones como efectos fijos aplicando análisis de varianza mediante el procedimiento GLM (SAS, 2002). Para predecir la concentración de minerales en suero se consideró la concentración mineral en agua, en forraje y en suero, en ambas épocas, con un análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise (SAS, 2002). Las medias se compararon con la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997).

Sampling procedures and chemical analysis

In the dry (April and May) and wet (August and September) seasons of 2008, we collected 40 and 44 water samples (100 mL), respectively, from jagüeyes, ponds, rivers and wells where cattle drink. Through simulated grazing technique (hand plucking; Wayne, 1964), we collected 50 and 49 samples (500 g) of forage consumed by cattle and 252 and 211 blood samples (14 mL) chosen randomly, from 292 cows and 171 calves. In laboratory, we used water acidified with HNO_3 ; dried forage at 60°C in a forced air oven; and blood samples obtained by puncture of the coccygeal vein, allowed to stand; then the serum was removed and stored frozen.

Mineral extraction was performed in water with the APHA-AWWA-WEF technique (1996), in forage with the Allan technique (1971), and in serum with the methodology suggested by Fick *et al.* (1979). The analysis of Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn and Co was carried out by atomic absorption spectrophotometry (Perkin Elmer 3110), Na and K by flammómetro (Corning, 410) and P by colorimetry in ultraviolet light spectrophotometer (Perkin Elmer, model Genesis 20).

Statistical analysis

The linear model considered the season factor as a fixed effect for water and forage data; forages data were classified into grasses and legumes, and also trees and shrubs; for serum data, the effects of PU, time, age of cattle and their interactions were considered as fixed effects, by applying the analysis of variance using PROC GLM (SAS, 2002). To predict the concentration of minerals in serum, the mineral concentration was considered in water, forage and serum in both seasons, with a multiple regression analysis using the step wise procedure (SAS, 2002). Means were compared using the Tukey test (Steel *et al.*, 1997).

RESULTS AND DISCUSSION

Mineral content in water

In water, the content of Ca, Mg, K, Na, Fe and Zn were higher ($p \leq 0.01$) in the dry season than in the wet season (Table 1), which may be due to water evaporation. According to Domínguez-Vara and Huerta-Bravo (2008), the concentration of Ca, Mg, K, Na and Cl in water from Toluca valley is higher in the dry season, but in the U.S. the concentration of these minerals is higher (NRC, 1974). According to Torres *et al.* (2009), the concentration of Ca, Mg, K,

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de minerales en el agua

En el agua el contenido de Ca, Mg, K, Na, Fe y Zn fue mayor ($p \leq 0.01$) en la época seca *vs.* la húmeda (Cuadro 1), lo cual se puede deber a la evaporación del agua en esa época. Según Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008), el contenido de Ca, Mg, K, Na y Cl en agua del valle de Toluca es mayor en la época seca, pero en EE.UU. la concentración de estos minerales es más elevada (NRC, 1974). Según Torres *et al.* (2009), el contenido de Ca, Mg, K, Na y Fe fue mayor en la época seca, y si el apareamiento de los bovinos de la sabana venezolana ocurre en esa época hay efectos negativos por desórdenes metabólicos en la nutrición mineral. McDowell (1992) menciona que un contenido de sales menor a 1000 mg L^{-1} es aceptable para el ganado. En el presente estudio ningún mineral sobrepasó los niveles máximos tolerables para el ganado, señalados por Puls (1994). La concentración de minerales en el agua de la Huasteca Potosina no es una fuente importante de los elementos estudiados, lo cual coincide con lo indicado por McDowell y Arthington (2005) en zonas del trópico. Es difícil cuantificar los minerales que el agua proporciona al ganado (Suttle, 2010), pero el aporte es escaso para una nutrición mineral adecuada aunque los bovinos consuman 8 a 12 % de su PV (Murphy *et al.*, 1983). En el presente estudio el Cu y el Co en el agua no fueron cuantificables.

Na and Fe were higher in the Venezuelan savannah dry season, and if mating occurs at this time, there are negative effects due to metabolic disorders in mineral nutrition. McDowell (1992) mentioned that a salt content of less than 1000 mg L^{-1} is acceptable for cattle. In the present study none mineral exceeded the maximum tolerable levels for livestock, indicated by Puls (1994). The concentration of minerals in water of the Huasteca Potosina is not a major source of the elements studied, which coincides with what McDowell and Arthington (2005) indicated for tropical areas. It is difficult to quantify the minerals that water provides to livestock (Suttle, 2010), but the supply is insufficient for adequate mineral nutrition, though cattle drink 8-12 % of BW as water (Murphy *et al.*, 1983). In the present study, Cu and Co in water were not quantifiable.

Mineral content in forages

According to Bernal (1994), in warm weather grasses, 89.9 % are an important part of diet for livestock, 7.1 % are legumes used as a source of protein, and 3 % are trees and shrubs, in agreement with Guillén *et al.* (2001), Frías *et al.* (1993) and Villa-Herrera *et al.* (2009) for the states of Chiapas, Guanajuato and Veracruz. Mineral content is affected by according to type of forage and season (Table 2), therefore, grasses have enough Mn and excess of Fe (Puls, 1994; Cabrera *et al.*, 2009), while legumes have greater ($p \leq 0.05$) content of Ca, P, Mg, Na, Zn and Mn *vs.* grasses, trees and shrubs (Cabrera

Cuadro 1. Concentración de minerales (mg L^{-1}) en el agua de bebida de bovinos de doble propósito en la Huasteca Potosina, México, en la época seca y la húmeda.

Table 1. Mineral concentration (mg L^{-1}) in the drinking water of dual-purpose cattle in the Huasteca Potosina, Mexico, during the dry and wet seasons.

Época	Ca	Mg	K	Na	Fe	Zn	Mn
Seca	16.24 ^a	11.08 ^a	4.23 ^a	27.69 ^a	0.27 ^a	2.04 ^a	0.01 ^a
Húmeda	5.94 ^b	2.17 ^b	3.39 ^b	11.55 ^b	0.17 ^b	0.65 ^b	0.01 ^a
EEM [†]	0.500	0.350	0.280	1.410	0.005	0.100	0.004
$p \leq$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.579
NMT [‡]	1000	1000	20	800	0.30	25	0.05

^{ab} Valores con distinta literal en una columna son diferentes ($p \leq 0.01$). [†]EEM: error estándar de la media. [‡]NMT: nivel máximo tolerable de minerales en agua para bovinos (Puls, 1994). ^{ab} Values with different letter in a column are different ($p \leq 0.01$). [†]SEM: standard error of the mean. [‡]NMT: maximum tolerable level of minerals in water for cattle (Puls, 1994).

Contenido de minerales en los forrajes

De los forrajes de clima cálido, 89.9 % corresponden a gramíneas importantes en la ganadería (Bernal, 1994), 7.1 % a leguminosas usadas como fuente de proteína, y 3 % a arbóreas y arbustivas usadas en sistemas ganaderos en los estados de Chiapas (Guillen *et al.*, 2001), Guanajuato (Frías *et al.*, 1993) y Veracruz (Villa-Herrera *et al.*, 2009). Respecto al contenido de minerales según el tipo de forraje y época del año (Cuadro 2), las gramíneas tienen suficiente Mn y exceso de Fe (Puls, 1994; Cabrera *et al.*, 2009); mientras que las leguminosas tienen mayor ($p \leq 0.05$) contenido de Ca, P, Mg, Na, Zn y Mn *vs.* gramíneas, arboles y arbustos (Cabrera *et al.*, 2009). Según Suttle (2010), las leguminosas aportan más minerales que las gramíneas. Además, en árboles y arbustos las concentraciones de Ca y Mn son adecuadas para el ganado (Puls, 1994), pero hay exceso de Fe sin alcanzar la concentración máxima tolerable (NRC, 2005), lo cual puede deberse a la abundancia de Fe en el suelo y las plantas acumulan más Fe que el requerido por los bovinos (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

El contenido de P y K fue mayor ($p \leq 0.05$) en la época húmeda que en la seca; durante el crecimiento activo del forraje en las lluvias, la concentración de P aumenta en la planta (Minson, 1990). En forrajes del

et al., 2009). According to Suttle (2010), legumes contribute more minerals than grasses to livestock. In addition, in trees and shrubs the concentrations of Ca and Mn are suitable for cattle (Puls, 1994), but there is excess of Fe without reaching the maximum tolerable concentration (NRC, 2005), which may be due to the abundance of Fe in the soil and plants accumulate more Fe than that required by cattle (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

The content of P and K was higher ($p \leq 0.05$) in the wet season than in the dry season; during active growth of forage in rainfall, P concentration increased in plants (Minson, 1990). In forages of northern Australia and southern Africa, P levels were higher in the wet season (Underwood, 1981). In contrast, the highest content of K in forages in the wet season differs from what Morales *et al.* (2007) described for forages in central Mexico. There was more Fe ($p \leq 0.05$) in the dry season, which coincides with the result reported by Domínguez-Vara and Huerta-Bravo (2008).

The contents of P, Mg, K, Na and Zn in forages do not meet the requirement of cattle, according to Puls (1994). Vivas *et al.* (2011) indicated deficiencies of Ca, K, Cu and Zn, and excess of Fe, in forages consumed by sheep in Yucatán, Mexico. It was not possible to quantify Cu, probably because its

Cuadro 2. Concentración de minerales en forrajes consumidos por bovinos de doble propósito en la Huasteca Potosina, México, según el tipo de forraje y la época del año.

Table 2. Concentration of minerals in forages consumed by dual-purpose cattle in the Huasteca Potosina, Mexico, according to the forage type and season of the year.

Concepto	Macrominerales (%)					Microminerales (ppm)		
	Ca	P	Mg	K	Na	Fe	Zn	Mn
Gramíneas	0.25 ^b	0.06 ^{ab}	0.04 ^b	0.15 ^a	0.08 ^{ab}	128 ^a	23 ^{ab}	32 ^{ab}
Leguminosas	0.80 ^a	0.10 ^a	0.07 ^a	0.16 ^a	0.10 ^a	165 ^a	32 ^a	53 ^a
Arbustos	0.39 ^b	0.04 ^b	0.05 ^{ab}	0.10 ^a	0.04 ^b	144 ^a	15 ^b	21 ^b
EEM [†]	0.082	0.015	0.008	0.031	0.016	30.1	4.3	8.2
$p \leq$	0.001	0.027	0.050	0.450	0.048	0.079	0.014	0.005
Seca	0.33 ^x	0.06 ^x	0.05 ^x	0.13 ^x	0.08 ^x	149 ^x	26 ^x	30 ^x
Húmeda	0.27 ^x	0.07 ^y	0.04 ^x	0.17 ^y	0.09 ^x	114 ^y	20 ^x	36 ^x
EEM [†]	0.024	0.002	0.003	0.009	0.006	9.8	5.1	2.6
$P \leq$	0.397	0.003	0.172	0.003	0.875	0.035	0.127	0.071
Media general	0.30	0.07	0.04	0.14	0.08	131	23	33
C. adecuada [‡]	.3-.5	.25-.3	.1-.2	.9-1.4	.1-.16	15-100	30-75	15-40

^{ab, xy} Valores con distinta literal en una columna, son diferentes ($p \leq 0.05$). [†]EEM: error estándar de la media. [‡]Concentración adecuada en forraje para el ganado (Puls, 1994) ^{ab, xy} Values with different letter in a column are different ($p \leq 0.05$).

[†]SEM: standard error of the mean. [‡]Adequate concentration in forage for cattle (Puls, 1994).

norte de Australia y sur de África hay niveles superiores de P en la época húmeda (Underwood, 1981). En contraste, el mayor contenido de K en forrajes en la época húmeda difiere con lo indicado por Morales *et al.* (2007) para forrajes del centro de México. Hubo más Fe ($p \leq 0.05$) en la época seca, lo cual coincide con el resultado reportado por Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008).

El contenido de P, Mg, K, Na y Zn en los forrajes no cubre el requisito de los bovinos, según Puls (1994). Vivas *et al.* (2011) indican deficiencias de Ca, K, Cu y Zn, y exceso de Fe, en forrajes consumidos por ovinos en Yucatán, México. No fue posible cuantificar el Cu, probablemente porque sus elementos antagónicos, Mn y Fe, redujeron su absorción desde el suelo (Ungerfeld, 1998). Además, el Fe compete por los sitios de absorción intestinal con el Cu, lo cual predispone a deficiencia de Cu en bovinos (Humphries *et al.*, 1985; Bremmer *et al.*, 1987; Suttle, 2010).

Contenido de minerales en el suero sanguíneo

Las interacciones UP*época*edad y época*edad no afectaron ($p > 0.05$) la concentración de minerales en el suero de los bovinos. La interacción UP*época afectó ($p \leq 0.05$) el contenido de Ca, P, Mg, K y Na (Figura 1). Así, el contenido de Ca fue más alto en las UP 4, 10 y 13 (11.7 , 11.4 y 12.6 mg dL^{-1}) en la época seca, mientras que en las UP 6 y 8 ocurrió en la época húmeda cuando la UP 16 (5.4 mg dL^{-1}) tuvo la concentración más baja de Ca; las concentraciones mayores de P se presentaron en las UP 2, 4 y 11 en la época seca, contrario a lo observado en las UP 9 y 13; la concentración de K fue mayor en la época seca en la mayoría de las UP, pero en las UP 8, 11 y 17 ocurrió lo opuesto y en la UP 11 fue en la época seca, y en la 13 y 14 el contenido más bajo de K fue en la húmeda; la concentración de Mg en suero en las UP 5 y 16 (1.49 y 1.26 mg dL^{-1}) fue inferior al resto, y en las UP 8 y 12 en la época húmeda fue similar a la UP 6 en la época seca (2.54 , 2.59 y 2.49 mg dL^{-1}); la concentración de Na fue mayor en la época húmeda en la UP 1 y superó a la UP 11 en la época seca (305 y 300 mg dL^{-1}), y la UP 11 presentó la concentración más baja de Na en suero en ambas épocas. Hay un efecto similar en el contenido de Ca, Mg y K (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008) y según Morales *et al.* (2007) hay una interacción época*localidad

antagonistic elements, Mn and Fe, reduced its absorption from the soil (Ungerfeld, 1998). Besides, Fe competes for the same sites of intestinal absorption with Cu, which predisposes a Cu deficiency in cattle (Humphries *et al.*, 1985; Bremmer *et al.*, 1987; Suttle, 2010).

Mineral content in blood serum

The PU*season*age and season*age interactions did not affect ($p > 0.05$) the concentration of minerals in cattle serum. The PU*season interaction affected ($p \leq 0.05$) the content of Ca, P, Mg, K and Na in serum (Figure 1). Thus, Ca content was higher in PU 4, 10 and 13 (11.7 , 11.4 and 12.6 mg dL^{-1}) in the dry season, while in PU 6 and 8 it increased during the wet season when PU16 (5.4 mg dL^{-1}) recorded the lowest Ca concentration; the highest concentrations of P were recorded in PU 2, 4 and 11 in the dry season, contrary to what was observed in PU 9 and 13; the concentration of K was higher in the dry season in most PU, but in PU 8, 11 and 17 the opposite occurred (this also happened in PU 11 in the dry season) and in PU 13 and 14 the lowest K content was recorded in the wet season; the serum Mg concentration in PU 5 and 16 (1.49 and 1.26 mg dL^{-1}) was lower than in the rest; in PU 8 and 12 in the wet season it was similar to PU 6 in the dry season (2.54 , 2.59 and 2.49 mg dL^{-1}); Na concentration was higher in the wet season in PU 1 and exceeded PU 11 during the dry season (305 and 300 mg dL^{-1}), and PU 11 presented the lowest concentration of serum Na in both seasons. There is a similar effect on the content of Ca, Mg and K (Domínguez-Vara and Huerta-Bravo, 2008), and according to Morales *et al.* (2007), there is a season*site interaction in the content of P, K and Na. The above results show imbalances between seasons and PU in several areas of Mexico.

In PU 1, 3, 6, 10 and 16, macro minerals showed a normal range, although in forages there were deficiencies of P, Mg, K and Na, which do not meet the requirements of cattle (Puls, 1994). The consumption of land and its minerals is likely to contribute to satisfy animal requirements (Healy *et al.*, 1998), although this variable was not included in this study. The serum Cu content was affected by the PU*season interaction ($p \leq 0.05$), and in PU 15 in the dry season was not different ($p > 0.05$) to

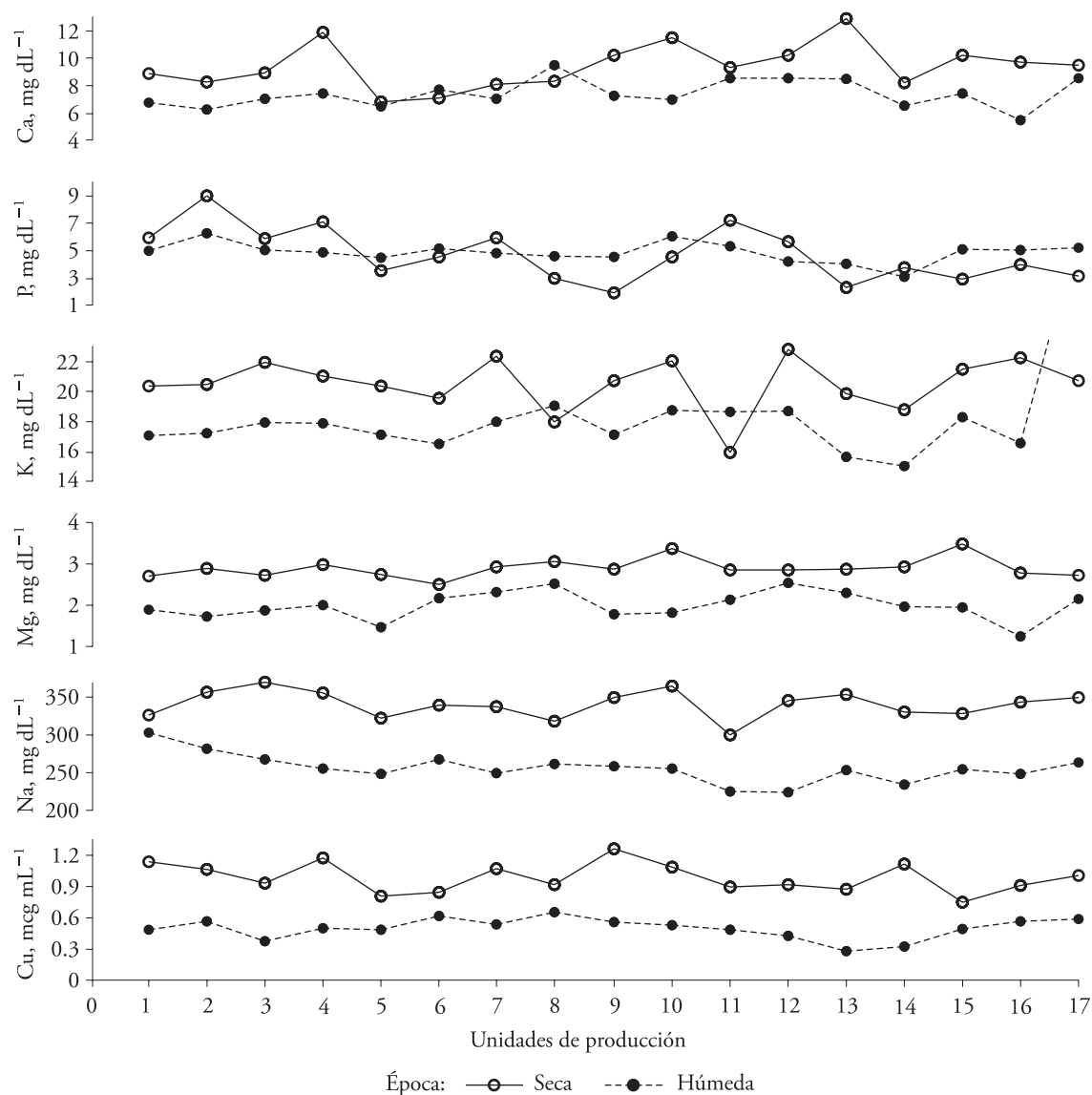


Figura 1. Efecto de la interacción época con unidad de producción sobre la concentración de minerales en suero sanguíneo de bovinos de doble propósito en la Huasteca Potosina, México.

Figure 1. Effect of season and production unit interaction on mineral concentration in blood serum of dual-purpose cattle in the Huasteca Potosina, Mexico.

en el contenido de P, K y Na. Los resultados anteriores muestran desequilibrios entre épocas y las UP en varias zonas de México.

En las UP 1, 3, 6, 10 y 16 los macro minerales mostraron un intervalo normal (Puls, 1994), aunque en forrajes hubo deficiencias de P, Mg, K y Na, los cuales no cubren los requerimientos de los bovinos (Puls, 1994). Es probable que el consumo de suelo y sus minerales complemente los requerimientos (Healy *et al.*, 1998), aunque esta variable no se evaluó en el presente estudio. El contenido de Cu en suero fue

PU 8 in the wet season; the concentration of Cu was below the normal range in the dry season and also in PU 15 during the wet season. According to McDowell and Arthington (2005), after P, Cu is the most limiting mineral for cattle in the tropics. In this regard, Morales *et al.* (2007) reported Cu deficiencies in 71 % in the blood serum of cattle.

The PU*age interaction had an effect ($p \leq 0.05$) on Ca content because in PU 1, 9, 10, 11, 13 and 16 young cattle showed higher Ca concentrations than adults (Figure 2), which differs from the results

afectado por la interacción UP*época ($p \leq 0.05$), y en la UP 15 en la época seca no fue diferente ($p > 0.05$) a la UP 8 en la época húmeda; la concentración de Cu fue menor al intervalo normal en la época seca y además en la UP 15 durante la época húmeda. Según McDowell y Arthington (2005), después del P el Cu es el mineral más limitante para los bovinos en el trópico. Al respecto, Morales *et al.* (2007) señalan deficiencias de Cu del 71 % en el suero sanguíneo de bovinos.

La interacción ($p \leq 0.05$) UP*edad afectó el contenido de Ca porque en las UP 1, 9, 10, 11, 13 y 16 los bovinos jóvenes mostraron mayor concentración que los adultos (Figura 2), lo cual difiere de los resultados de Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008). Las UP 2, 5 y 7 mostraron deficiencias de Ca, así también los bovinos adultos de las UP 1, 9 y 16 con 6.91, 7.18 y 7.23 mg dL⁻¹. En ocho UP los bovinos jóvenes tuvieron contenidos normales, lo cual puede deberse al Ca aportado por la leche de la vaca, dado que los ordeños son parciales en los sistemas doble propósito (Rojo-Rubio *et al.*, 2009).

Hubo efecto ($p \leq 0.01$) de la UP sobre las concentraciones de Fe y Zn en el suero de los bovinos. Así, el contenido de Fe varió de 0.62 a 1.22 $\mu\text{g mL}^{-1}$ en las UP 5 y 16 indicando deficiencia de Fe en el suero, contrario a lo observado en los forrajes, y podría estar asociado con la pérdida de sangre causada por parásitos (McDowell y Arthington, 2005), o con otros procesos patológicos (Prentice, 2008). Este efecto de UP es similar al resultado reportado por Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008). La concentración de Zn varió de 0.31 a 0.83 $\mu\text{g mL}^{-1}$ en las UP 14 y 6; con excepción de la UP 6, hubo carencia de Zn en el suero. Esto coincide con lo observado en los forrajes (74.8 % de deficiencia), y Morales *et al.* (2007) y

reported by Domínguez-Vara and Huerta-Bravo (2008). The PU 2, 5 and 7 showed Ca deficiencies, as well as adult cattle from PU 1, 9 and 16 with 6.91, 7.18 and 7.23 mg dL⁻¹. In eight PU, young cattle had normal content, which can be due to the Ca of the milk produced by cows, since milkings are partial in dual-purpose systems (Rojo-Rubio *et al.*, 2009).

The PU had an effect ($p \leq 0.01$) on Fe and Zn concentrations in the serum of cattle. Thus, the Fe content ranged from 0.62 to 1.22 $\mu\text{g mL}^{-1}$ in PU 5 and 16, indicating Fe deficiency in serum, contrary to what was observed in forages, which might be associated with blood loss caused by parasites (McDowell and Arthington, 2005), or other disease processes (Prentice, 2008). This PU effect is similar to the result reported by Domínguez-Vara and Huerta-Bravo (2008). The Zn concentration ranged from 0.31 to 0.83 $\mu\text{g mL}^{-1}$ in PU 14 and 6; with the exception of PU 6, there was a lack of Zn in serum. This is consistent with what was observed in forages (74.8 % deficiency), and Morales *et al.* (2007) and Kumaresan *et al.* (2010) also found Zn deficiencies.

The concentrations of Ca (7.4 mg dL⁻¹), Na (258 mg dL⁻¹), Cu, Fe and Zn (0.51, 0.88 and 0.60 $\mu\text{g mL}^{-1}$) were deficient in adults and young cattle in the wet season, when forage with greater nutrient content is more abundant, but there may be a dilution effect of minerals in the plant (Rojo-Rubio *et al.*, 2009), especially if there is little mineral supplement. According to Underwood and Suttle (1999), cattle suffer more mineral deficiencies during the rainy season when they consume more nutrients and gain weight faster, in spite of not always ingesting more minerals. In grazing ruminants there is lack or excess of one or more minerals, in one or both seasons (Depalos *et*

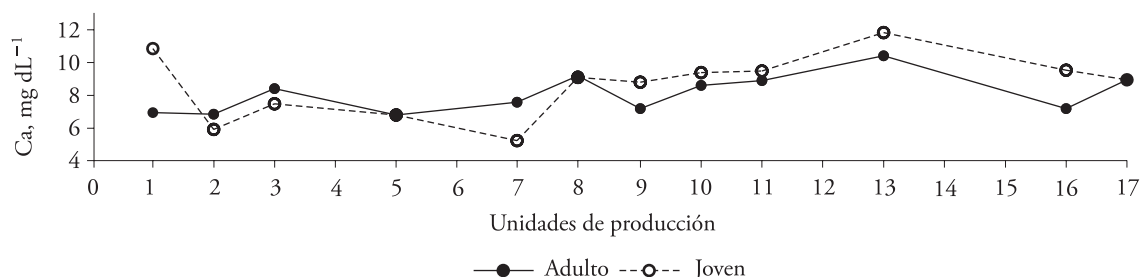


Figura 2. Efecto de la interacción edad con unidad de producción en la concentración de Ca en el suero sanguíneo de bovinos de doble propósito en la Huasteca Potosina, México.

Figure 2. Effect of age and production unit interaction on Ca concentration in blood serum of dual-purpose cattle in the Huasteca Potosina, Mexico.

Kumaresan *et al.* (2010) también encontraron deficiencias de Zn.

Las concentraciones de Ca (7.4 mg dL^{-1}), Na (258 mg dL^{-1}), Cu, Fe y Zn (0.51 , 0.88 y $0.60 \mu\text{g mL}^{-1}$) fueron deficientes en bovinos adultos y jóvenes en la época húmeda, cuando abunda el forraje con mayor contenido de nutrientes, pero puede haber un efecto de dilución de minerales en la planta (Rojo-Rubio *et al.*, 2009), especialmente si hay poco suplemento mineral. Según Underwood y Suttle (1999), el ganado sufre más carencias minerales en las lluvias, cuando consume más nutrientes y gana peso, pero no siempre ingiere más minerales. En rumiantes en pastoreo hay carencias o excesos de uno o varios minerales, en una o ambas épocas (Depalos *et al.*, 2009; Turriza-Chan *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2011). El contenido de P fue mayor ($p \leq 0.05$) en los bovinos jóvenes en el presente estudio ($5.49 \text{ vs. } 4.68 \text{ mg dL}^{-1}$); el valor normal es 4 a 9 mg dL^{-1} (Puls, 1994), pero en bovinos jóvenes es mayor (6 a $9 \text{ vs. } 4$ a 6 mg dL^{-1}) que en adultos por su requerimiento para crecimiento (Whitehead, 2000). Hay diferencias en requerimientos minerales entre ovinos jóvenes y adultos (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008).

Predicción del contenido de minerales en el suero sanguíneo de los bovinos

Con el análisis de regresión para cada época se generaron ecuaciones para predecir la concentración de minerales en los bovinos a partir de su contenido en el agua, en los forrajes consumidos por los bovinos y en su suero (Cuadro 3).

En la época de secas la concentración de Ca en el suero es explicada ($R^2=0.90$; $p \leq 0.01$) por el contenido de Mg en el suero, P, Mg y K en los forrajes, y Na y Cu en el agua. La concentración de P en el suero se explica ($R^2=0.64$; $p \leq 0.01$) por el contenido de Zn en el forraje, y por el de K, Fe y Zn en el agua. La concentración de Mg sérico se debe ($R^2=0.90$; $p \leq 0.01$) al contenido de K y Cu en el suero y el de Mg, Fe y Mn en el forraje. Según Chester-Jones *et al.* (1989), hay una relación estrecha entre el Mg consumido y el Mg en plasma, y el de Fe y Zn en el agua. La concentración sérica de K se debe ($R^2=0.90$; $p \leq 0.01$) al contenido de Ca, Na y Cu en el suero, y el de Ca, Mg, Fe y Zn en el forraje. La concentración de Na en suero se explica ($R^2=0.95$; $p \leq 0.01$) por el

al., 2009; Turriza-Chan *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2011). The P content was higher ($p \leq 0.05$) in young cattle in the present study ($5.49 \text{ vs. } 4.68 \text{ mg dL}^{-1}$); the normal value is 4 - 9 mg dL^{-1} (Puls, 1994), but in young cattle is higher than in adult cattle (6 to $9 \text{ vs. } 4$ to 6 mg dL^{-1}) due to their growth requirement (Whitehead, 2000). There are differences in mineral requirements between young and adult sheep (Domínguez-Vara and Huerta-Bravo, 2008).

Prediction of mineral content in cattle blood serum

Using regression analysis for each season, we developed equations to predict the concentration of minerals in cattle from their content in water, forage consumed and cattle serum (Table 3).

In the dry season, serum Ca concentration is explained ($R^2=0.90$; $p \leq 0.01$) by the content of Mg in serum, P, Mg and K in forages, and Na and Cu in water. The P concentration in serum is due ($R^2=0.64$; $p \leq 0.01$) to the content of Zn in forage, and K, Fe and Zn in water. The serum Mg concentration is due ($R^2=0.90$; $p \leq 0.01$) to K and Cu content in serum and from Mg, Fe and Mn in forage. According to Chester-Jones *et al.* (1989), there is a close relationship between Mg consumed and plasma Mg, and Fe and Zn in water. The serum K concentration is due ($R^2=0.90$; $p \leq 0.01$) to the content of Ca, Na and Cu in serum, and Ca, Mg, Fe and Zn in forage. The serum Na concentration is explained ($R^2=0.95$; $p \leq 0.01$) by the content of Ca and K in serum, by Ca, Mg, Fe and Zn in forage, and Fe in water. In the rainy season, serum Ca concentration is determined ($R^2=0.98$; $p \leq 0.01$) by the content of P, Mg, K and Zn in serum, and Mg and K in water. The serum P concentration is explained ($R^2=0.92$; $p \leq 0.01$) by the presence of Na and Cu in serum, and Mn in water. The serum Mg concentration is the result ($R^2=0.96$; $p \leq 0.01$) of Ca and Fe in serum, and Mg and K in water. In this regard, there is a negative correlation because a higher content of K in the forage reduces plasma Mg, eliciting hypomagnesemia (Underwood and Suttle, 1999); also K intake decreases the absorption of Mg (Adediji and Suttle, 1999). The serum K concentration is due ($R^2=0.90$; $p \leq 0.01$) to the content of Ca and P in serum, and Zn in water. The Na concentration is explained ($R^2=0.98$; $p \leq 0.01$) by the content of

Cuadro 3. Ecuaciones para predecir la concentración de minerales en suero de bovinos en las épocas seca y húmeda, a partir de su contenido en el agua, en los forrajes y en el suero.
Table 3. Equations to predict the concentration of minerals in bovine serum in dry and wet seasons from their content in water, forage and serum.

Ecuación general: $Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n$	R^2	$P \leq$
Época seca:		
$Ca = 12.214 + 0.3677(MgA) + 0.0052(PF) - 0.0080(MgF) - 0.0010(KF) - 0.0758(NaW) + 189.59(CuW)$	0.9048	0.0001
$P = 2.9432 - 0.1070(ZnF) + 0.3112(KW) + 18.787(FeW) - 0.8727(ZnW)$	0.6494	0.0091
$Mg = 3.2026 + 0.6181(KA) - 3.1062(CuA) + 0.0037(MgF) - 0.0165(FeF) - 0.0681(MnF) - 9.6939(FeW) + 0.5443(ZnW)$	0.9005	0.0007
$K = -15.923 - 0.8399(CaA) + 0.1328(NaA) - 2.6204(CuA) + 0.0010(CaF) + 0.0071(MgF) - 0.0083(FeF) + 0.12664(ZnF)$	0.9039	0.0006
$Na = 135.81 + 7.3320(CaA) + 6.6340(KA) - 0.0076(CaF) + 0.0497(MgF) + 0.0799(FeF) - 1.0207(ZnF) + 46.802(FeW)$	0.9573	0.0001
Época húmeda:		
$Ca = 0.1347 - .3426(PA) + 2.4689(MgA) + 0.1275(KA) + 3.00407(ZnA) - 0.1356(MgW) + 0.0576(KW)$	0.9880	0.0001
$P = 0.0233 + 0.0134(NaA) + 2.7633(CuA) + 99.183(MnW)$	0.9200	0.0001
$Mg = -0.0227 + 0.3321(CaA) - 0.5406(FeA) + 0.0541(MgW) - 0.0187(KW)$	0.9667	0.0001
$K = 0.2478 + 1.2720(CaA) + 2.0118(PA) - 2.3111(ZnW)$	0.9097	0.0001
$Na = -4.2868 + 26.974(CaA) + 41.814(PA) - 5.6696(KA) + 205.25(CuA) - 158.51(FeA) + 0.0078(CaF) + 1.4529(NaW) - 59.415(ZnW)$	0.9879	0.0001
$Cu = 0.0141 + 0.0090(KA) + 0.5481(ZnA) - 0.0089(ZnF) + 0.7680(FeW) + 0.0874(ZnW)$	0.9523	0.0001
$Fe = -0.0239 + 0.0864(CaA) + 0.1204(PA) - 0.0015(NaA) + 0.00014(KF) - 0.00012(NaF) - 0.0026(MnF) + 0.0110(NaW) - 0.0767(ZnW)$	0.9952	0.0001
$Zn = 0.0093 - 0.0924(MgA) + 0.3355(CuA) + 0.4102(FeA) - 0.00027(NaF) + 0.00093(FeF) + 0.0162(ZnF)$	0.9756	0.0001

CaA, PA, MgA, KA, NaA, CuA, FeA y ZnA = minerales en suero sanguíneo. CaF, PF, MgF, KA, NaF, FeF, ZnF y MnF = minerales en forrajes que consume el ganado. MgW, KW, NaW, CuW, FeW, ZnW y MnW = minerales en agua disponible para el ganado ♦ CaA, PA, MgA, KA, NaA, CuA, FeA and ZnA = minerals in blood serum. CaF, PF, MgF, KA, NaF, FeF, ZnF and MnF = minerals in forage consumed by cattle. MgW, KW, NaW, CuW, FeW, ZnW and MnW = minerals in drinking water available for cattle.

contenido de Ca y K en el suero, por el de Ca, Mg, Fe y Zn en el forraje, y por el de Fe en el agua. En la época húmeda la concentración sérica de Ca se debe ($R^2=0.98$; $p \leq 0.01$) al contenido de P, Mg, K y Zn en el suero, y al de Mg y K en el agua. La concentración sérica de P se explica ($R^2=0.92$; $p \leq 0.01$) por el Na y Cu en el suero, y el Mn en el agua. La concentración sérica de Mg se debe ($R^2=0.96$; $p \leq 0.01$) al Ca y Fe en suero, y Mg y K en el agua. Al respecto hay una correlación negativa porque un mayor contenido de K en el forraje reduce el Mg en el plasma con predisposición a hipomagnesemia (Underwood y Suttle, 1999); además, la ingestión de K disminuye la absorción de Mg (Adediji y Suttle, 1999). La concentración sérica de K se explica ($R^2=0.90$; $p \leq 0.01$) por el contenido de Ca y P en el suero, y de Zn en el agua. La concentración de Na se explica ($R^2=0.98$; $p \leq 0.01$) por el contenido de Ca, P, K, Cu y Fe en el suero, de Ca en el forraje, y de Na y Zn en agua. La concentración de Cu se explica ($R^2=0.95$; $p \leq 0.01$)

Ca, P, K, Cu and Fe in the serum, of Ca in forage, and Na and Zn in water. The concentration of Cu is explained ($R^2=0.95$; $p \leq 0.01$) by the content of K and Zn in serum, Zn in forage, and Fe and Zn in water. The Fe content is explained ($R^2=0.99$; $p \leq 0.01$) by the level of Ca, P and Na in serum, of K, Na and Mn in forage, and Na and Zn in water. The level of Zn is explained ($R^2=0.97$; $p \leq 0.01$) by the content of Mg, Cu and Fe in serum, and Na, Fe and Zn in forage. The prediction equations developed for the contents of Ca, P, K, Na, Cu and Fe in dual-purpose cattle serum in this study are consistent with the prediction equations proposed by Morales *et al.* (2007), related to the content of these minerals in the serum of grazing dairy cattle fed a supplement; and also with the prediction equations of Domínguez-Vara and Huerta-Bravo (2008) for the contents of Ca, P, Cu and Zn in the serum of grazing lambs in the valley of Toluca, Mexico.

por el contenido de K y de Zn en el suero, de Zn en el forraje, y de Fe y Zn en el agua. El contenido de Fe se explica ($R^2=0.99$; $p\leq 0.01$) por el nivel de Ca, P y Na en el suero, de K, Na y Mn en el forraje, y de Na y Zn en el agua. El nivel de Zn se explica ($R^2=0.97$; $p\leq 0.01$) por el contenido de Mg, Cu y Fe en el suero, de Na, Fe y Zn en el forraje. Las ecuaciones de predicción desarrolladas para el contenido de Ca, P, K, Na, Cu y Fe en suero de bovinos doble propósito en el presente estudio, coinciden con las ecuaciones de predicción propuestas por Morales *et al.* (2007) para el contenido de esos minerales en el suero de los bovinos productores de leche en pastoreo más suplemento, y también con las ecuaciones de predicción de Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) para el contenido de Ca, P, Cu y Zn en el suero de corderos y ovejas en pastoreo en el valle de Toluca, México.

CONCLUSIONES

El ganado bovino de doble propósito de la Huasteca Potosina presenta desequilibrios en Ca, Na, Cu, Fe y Zn, principalmente durante la época de lluvias. Los forrajes identificados en las áreas de pastoreo no aportaron las concentraciones suficientes para cubrir los requerimientos de P, Mg, K y Zn de los bovinos; además, el Ca fue deficiente en gramíneas en la época húmeda. Se usaron ecuaciones de regresión para estimar las concentraciones de Ca, P, Mg, K, Na y Cu en el suero de los bovinos durante las épocas seca y húmeda, y las de Fe y Zn en la época húmeda a partir del contenido mineral en agua, forrajes y suero sanguíneo.

LITERATURA CITADA

Adediji, O., and N. F. Suttle. 1999. Influence of diet type, potassium and animal species on the absorption of magnesium by ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 58: 31A.

Allan, J. E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron. USA. 15 p.

American Public Health Association, Water Environment Federation, American Water Works Association (APHA-WEF-AWWA). 1996. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed. American Public Health Association. USA. 165 p.

Armienta, T. G. T. 1995. Perfil mineral del suelo, forraje y tejidos del ganado en agostaderos del Estado de Nuevo León. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 132 p.

Bernal, E. J. 1994. Pastos y Forrajes Tropicales: Producción y Manejo. 3 ed. Banco Ganadero. Colombia. 323 p.

CONCLUSIONS

The dual-purpose cattle of the Huasteca Potosina showed imbalances in Ca, Na, Cu, Fe and Zn, especially during the rainy season. The forages identified in the grazing areas did not provide enough minerals to meet the requirements of P, Mg, K and Zn for cattle; in addition, Ca was deficient in grasses in the rainy season. Regression equations were used to estimate the concentrations of Ca, P, Mg, K, Na and Cu in cattle serum during the dry and wet season, and of Fe and Zn in the rainy season, from the mineral content in water, forages and blood serum.

—End of the English version—



Bremmer, 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.

Cabrera, T. E. J., R. E. E., Sosa, R. A. F. Castellanos, B. A. O. Gutiérrez, y S. J. H. Ramírez. 2009. Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del Estado de Quintana Roo, México. *Vet. Méx.* 40: 167-179.

Depalos, L., S. Godoy, C. F. Chico, y J. Ordoñez. 2009. Nutrición mineral en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. *Zoot. Trop.* 27(1): 25-37.

Chester-Jones, H., J. P. Fontenot, H. P. Veit, and K. E. Webb. 1989. Physiological effects of feeding high levels of magnesium to sheep. *J. Anim. Sci.* 67: 1070-1081.

Domínguez-Vara, I. A., y M. Huerta-Bravo. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas, en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.

Fick, K. A., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. 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.

Frías, H. J. T., J. J. Peña, y J. Ocampo. 1993. Comparación de dos metodologías de remoción de leña en árboles de mezquite (*Prosopis laevigata*) en zonas áridas del norte de Guanajuato. *Manejo de Pastizales* 1: 1-8.

García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ª ed. México. D. F. 217 p.

Guillen, J., Jiménez-Ferrer, G., Nahed, T. J., Soto-Pinto, L. 2001. Ganadería indígena en el norte de Chiapas. Hernández, L. (ed). Historia Ambiental de la Ganadería en México. Instituto de Ecología AC. Xalapa, Veracruz, México. pp: 210-223.

Healy, W. B., P. C. Rankin, and H. M. Watts. 1998. Effect of soil contamination on the element composition of herbage. *J. Anim. Sci.* 17: 59-61.

Humphries, W. E., I. Bremmer, and M. Phillip. 1985. The influence of dietary iron on copper metabolism in the calf.

- In: Mills, C. F., I. Bremner, and J. K. Chesters (eds). Proc. Fifth Int. Symp. on Trace Elements in Man and Animals. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK. pp: 367-370.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2002. Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí. México. 150 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. Censo agropecuario. www.inegi.org.mx. (Consulta: junio, 2011).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Territorio nacional. www.inegi.org.mx. (Consulta: marzo, 2011).
- Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED). 2005. San Luis Potosí. www.inafed.gob.mx. (Consulta: julio, 2011).
- Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 2001. Trace Elements in Soil and Plants. 3 ed. CRC Press. USA. pp: 310-317.
- Kumaresan, A., K. M. Bujarbaruah, K. A. Pathak, I. Brajendra, and T. Ramesh. 2010. Soil-plant-animal continuum in relation to macro and micromineral status of dairy cattle in subtropical hillagro ecosystem. *Trop. Anim. Health Prod.* 42: 569-577.
- McDowell, L. R. 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic Press. USA. 524 p.
- McDowell, L. R., y J. D. Arthington. 2005. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Universidad de Florida. IFAS. USA. pp: 6-47.
- Minson, D. J. 1990. Forages in Ruminant Nutrition. Academic Press, San Diego, USA. 463 p.
- Morales, A. E., V. I. Domínguez, M. González, G. Jaramillo, O. Castelán, N. Pescador, y B. M. Huerta. 2007. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. *Téc. Pec. Méx.* 45: 329-344.
- Murphy, M., C. Davis, and G. McCoy. 1983. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 66: 35-38.
- NRC. 1974. Nutrient and Toxic Substances in Water for Livestock and Poultry. National Academic of Sciences. Washington, DC. USA. 95 p.
- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals. 2 ed. The National Academies Press. USA. 292 p.
- Prentice, A. M. 2008. Iron metabolism, malaria and other infections: what is all the fuss about? *J. Nutrition.* 138: 2537-2541.
- Puls, R. 1994. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International. Clarbrook, Canada. pp: 83-109.
- Rojó-Rubio, R., J. Vázquez-Armijo, P. Pérez-Hernández, G. D. Mendoza-Martínez, A. Z. Salem, B. Albarrán-Portillo, A. González-Reyna, J. Hernández-Martínez, S. Rebollar-Rebollar, D. Cardoso-Jiménez, E. Dorantes-Coronado, and J. Gutierrez-Cedillo. 2009. Dual purpose cattle production in México. *Trop. Anim. Health and Prod.* 41: 715-721.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA). 2011. Dirección de Ganadería. www.siap.gob.mx. (Consulta: abril, 2011).
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. Software (Versión 9.0). User's Guide. N.C., USA. 315 p.
- Steel, R. G. D., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA. 622 p.
- Suttle, N. F. 2010. Mineral Nutrition of Livestock. 4a ed. CABI. U.K. pp: 21.
- Torres, R., R. Aparicio, L. Astudillo, y J. Carrasquel. 2009. Dinámica de componentes físico químicos del agua en las lagunas de abrevaderos en sabanas hiperestacionales de bancos, bajíos y esteros de Mantecal, estado Apure. *Zoot. Trop.* 27(4): 437-462.
- Turriza-Chan, J. I., A. E. Castellanos-Ruelas, J. G. Rosado-Rubio, M. Heredia-Aguilar, y E. Cabrera-Torres. 2010. Diagnóstico de la concentración mineral en tejido óseo de ovinos en pastoreo en el Estado de Yucatán, México. *Agrociencia* 44: 471-480.
- Underwood, E. J. 1981. Mineral Nutrition of Livestock, 2nd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, UK. 500 p.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 4th ed. CABI Publishing. London, England. pp: 17-47.
- Ungerfeld, E. 1998. Factores que afectan el contenido de minerales en pasturas naturales y el estado nutricional de vacunos y ovinos de Uruguay. INIA. Uruguay. 212 p.
- Vázquez, A. J. F., R. Rojo, R. M. García, D. López, A. F. Salem, I. A. Domínguez, N. Pescador, and L. Tinoco. 2011. Effect of season on serum Cu and Zn concentrations in crossbred goats having different reproductive status under semiarid rangeland conditions in southern Mexico State. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14: 331-335.
- Villa-Herrera, A., M. E. Nava-Tablada, S. López-Ortiz, S. Vargas-López, E. Ortega-Jiménez, y F. Gallardo-López. 2009. Utilización del guácimo (*Guazuma ulmifolia lam.*) como fuente de forraje en la ganadería bovina extensiva del trópico mexicano. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 10: 253-261.
- Vivas, M. E. F., R. J. G. Rosado, A. F. R. Castellanos, M. A. Herrera, y E. J. Cabrera-Torres. 2011. Contenido mineral en forrajes en predios de ovinocultores del Estado de Yucatán. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2(4): 465-475.
- Waldron, K. J., J. C. Rutherford, D. Ford, and N. J. Robinson. 2009. Metalloproteins and metal sensing. *Nature* 460: 823-860.
- 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. U.K. pp: 146-153.