

Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México

Mineral diagnosis in forage and blood serum of dairy cattle in two seasons in the Toluca Valley, Mexico

Ernesto Morales Almaráz^a, Ignacio Domínguez Vara^a, Manuel González-Ronquillo^a, Gerardo Jaramillo Escutia^a, Octavio Castelán Ortega^a, Nazario Pescador Sálas^a, Maximino Huerta Bravo^b

RESUMEN

Se analizaron los minerales Ca, P, K, Na, Mg, Cu, Fe, Zn, Se y Mn en forraje rye grass (*Lolium perenne*), en suplementos y en suero de bovinos Holstein en producción (16.6 ± 3.6 L d^{-1}); se muestrearon las praderas, alimentos, en las épocas seca (abril-mayo) y lluviosa (agosto-septiembre), y 139 hembras en doce unidades de producción, de cuatro localidades del valle de Toluca, México. Hubo diferencias ($P < 0.05$) entre localidades y épocas, y efecto de su interacción. El Ca del forraje fue bajo en lluvias; en suero fue alto en ambas épocas. El P del forraje fue bajo en tres localidades en la época seca. La relación Ca:P en el forraje, en las cuatro localidades en lluvias fue menor de 2:1, en el suero fue mayor de 2:1. El K en forrajes y suero fue adecuado en ambas épocas. El Na fue bajo en los forrajes de dos localidades, pero en el suero fue normal. El Mg en el suero fue normal. El Cu en el suero estuvo bajo en la época seca en las cuatro localidades. El Fe del forraje fue alto en las cuatro localidades en ambas épocas; en suero fue mayor en las lluvias. El Zn fue pobre en el forraje y suero en ambas épocas. El Se fue bajo en los forrajes en ambas épocas, pero en suero estuvo normal. En conclusión, existen desequilibrios en los minerales del forraje y suplementos que pueden afectar el contenido en el suero e influir en la salud y producción de las vacas.

PALABRAS CLAVE: Bovinos lecheros, Minerales, Forrajes, Suero, Época.

ABSTRACT

Analysis was done for Ca, P, K, Na, Mg, Cu, Fe, Zn, and Mn concentrations in rye grass (*Lolium perenne*) forage, feeds and the blood serum of Holstein cows (16.6 ± 3.6 L of milk d^{-1}). Forages, feeds and cows in small-scale production systems were sampled during the dry (April-May) and rainy (August-September) seasons. Blood samples were taken from 139 cows from twelve production units at four sites in the Toluca Valley, Mexico. Site, season and the site/season interaction affected mineral concentrations ($P < 0.05$). Forage calcium was low during the rainy season, although feed and serum Ca were high. Forage P was low during the dry season at three sites. The forage Ca:P ratios at all four sites were below 2:1, but were higher in the serum. Forage and serum K was normal during both seasons. Forage Na was low at two sites, but was adequate in the serum. Serum Mg was adequate. Serum Cu was deficient at all four sites during the dry season. Forage Fe was high at all four sites during both seasons, but serum Fe was highest in the rainy season. Forage and serum Zn were deficient at all four sites during both seasons. Forage Se was low during both seasons, but was adequate in the serum. The studied forages and feeds exhibited mineral imbalances that can affect the corresponding serum mineral concentration, and consequently cow health and performance.

KEY WORDS: Dairy cattle, Minerals, Forages, Serum, Seasons.

En los sistemas de la producción de leche en pastoreo, la desnutrición por falta de energía y

Malnourishment due to energy and protein shortfalls is a cause of suboptimum animal production in

Recibido el 31 de mayo de 2005 y aceptado para su publicación el 27 de marzo de 2007.

^a Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Campus Universitario el Cerrillo, Toluca, México. 50090. Tel. y Fax: 01 (722) 2 96 55 42. iadv@uaemex.mx. Correspondencia al 2° autor.

^b Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

proteína, es causante de una producción animal subóptima⁽¹⁾; también los desequilibrios minerales pueden afectar los rendimientos productivo y reproductivo del ganado^(2,3,4). En gran parte del altiplano central de México la producción de forrajes es estacional, lo cual influye en la disponibilidad de alimentos y en la producción de leche⁽⁵⁾. En los sistemas de producción de leche en pequeña escala los bovinos están estrechamente integrados a la agricultura, su alimentación se basa en el consumo de pajas y esquilmos agrícolas, ensilado de maíz, forrajes de cereales de invierno, pastos nativos como Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), bulpia (*Sporobolus piramidalis*), chayotillo (*Chaetium bromoides*), rye grass (*Lolium perenne*), y en menor cantidad grano de maíz, soya, alimentos balanceados y excretas de aves^(5,6). En los bovinos lecheros, la nutrición mineral es importante porque su alimentación básica son forrajes que por lo general no cubren sus necesidades⁽⁷⁾. Diversos factores relacionados con la planta influyen en su contenido mineral, determinando su consumo en el animal⁽⁸⁾. En México hay poca información sobre nutrición mineral; además, la práctica de suplementar minerales es escasa o nula; por lo tanto, es posible que se presenten desequilibrios nutricionales asociados con los minerales. Con la finalidad de identificar desbalances minerales y su interrelación, se determinó, en cuatro localidades, durante dos épocas, el contenido mineral en forraje, alimentos y suero de ganado lechero, de los sistemas de producción en pequeña escala en el valle de Toluca, México.

El trabajo se realizó en cuatro localidades: Ejido San Cristóbal (localidad 1), Ejido Benito Juárez (2), Jilotepec (3) y El Cerrillo (4); localizadas entre 19° 17' N y 99° 40' O, de 2,400 a 2,660 msnm; el clima es templado subhúmedo C(w)⁽⁹⁾. Se sangraron 139 bovinos hembras adultas de 2 a 5 años de edad, entre el 2° y 4° parto, con distinta condición corporal (1.5, 2 y 2.5 = pobre; 3, 3.5 y 4 = buena), encastadas con la raza Holstein; los días en lactación variaron de 60 a 120 y la producción media de leche fue de 16.6±3.6 L d⁻¹. Los hatos fueron representativos del ganado regional, seleccionados por sus condiciones similares de producción y alimentación (pastoreo más

grazing milk production systems⁽¹⁾. Mineral imbalances can also affect cattle productive and reproductive performance^(2,3,4). Forage production is seasonal in a large portion of the Mexican altiplano, which influences feed availability and milk production⁽⁵⁾. In small-scale milk production systems, cattle are closely integrated into agricultural systems and their feeding is based on hay, agricultural by-products, corn silage, winter cereal forages, native and cultivated grasses (e.g. *Pennisetum clandestinum*, *Sporobolus piramidalis*, *Chaetium bromoides*, *Lolium perenne*), and, to a lesser extent, corn grain, balanced feed and poultry manure^(5,6).

Mineral nutrition is important in dairy cattle because their basic feed consists of forages that generally do not cover their nutritional needs⁽⁷⁾. A number plant-related factors influence mineral content and thus determine animal's mineral intake⁽⁸⁾. Very little data exists on mineral nutrition in Mexico and application of mineral supplements is an extremely rare practice, meaning that mineral-related nutritional imbalances may be frequent. In an effort to identify mineral imbalances and their interactions with other factors in small-scale milk production systems, mineral content was determined in forages, feeds and dairy cattle serum during two seasons and at four sites in the Toluca Valley, Mexico.

Data were collected from 12 production facilities at four sites in Toluca Valley, Mexico: San Cristóbal Ejido (site 1); Benito Juárez Ejido (2); Jilotepec (3); and The Cerrillo (4), which are located between 19° 17' N/99° 40' W, and at an altitude between 2,400 and 2,660 m asl. Regional climate is temperate subhumid: C(w)⁽⁹⁾.

Blood samples were taken from 139 adult Holstein cows between 2 and 5 yr of age, between the second and fourth parturition, and of different body conditions (1.5, 2 and 2.5 = poor; 3, 3.5 and 4 = good). Days of lactation varied from 60 to 120 and mean milk production was 16.6±3.6 L d⁻¹. The sampled herds were representative of regional cattle and were selected for having similar production and feeding (grazing + supplement) conditions. The number of herds and animals

suplemento). El número de hatos y bovinos muestreados por localidad y época varió según la disponibilidad y participación de los productores, y por la característica principal de los sistemas en pequeña escala, que es el número de cabezas (de 1 a 15 por unidad de producción)⁽¹⁰⁾. El estudio se realizó al final de la época seca (abril-mayo) y fin de las lluvias (agosto-septiembre) de 2003. La producción láctea fue de 17 ± 4.6 en las secas y de 16 ± 2.7 L d⁻¹ en las lluvias. Las temperaturas fueron de 14.5 y 14.7 °C, y las precipitaciones pluviales de 40 y 50 mm en abril y mayo; y de 13 y 13.2 °C, y de 148 y 125 mm en agosto y septiembre, respectivamente.

Se colectaron muestras de sangre del ganado bovino y de forraje en las praderas de las cuatro localidades el mismo día por la mañana. Debido a que los productores vendieron animales dentro del periodo de estudio, los bovinos muestreados en ambas épocas fueron los mismos en un 90 %. El total de muestras se indica en el Cuadro 1. También se colectaron muestras (0.5 kg) de los alimentos suministrados como complemento. Las muestras de sangre se obtuvieron con tubos y agujas vacutainer por punción directa de la vena yugular; la sangre fue centrifugada a 2,500 rpm durante 10 min, a 4 °C; el suero obtenido fue congelado a -20 °C para su análisis. El suero descongelado fue desproteinizado con ácido tricloroacético al 10 % y mantenido en refrigeración a 4 °C hasta su análisis. La estimación de la condición corporal⁽¹¹⁾ se hizo por apreciación visual en cada bovino

sampled per site and season varied according to producer availability and participation, as well as the number of head (1 to 15 per production unit) - the defining characteristic of small-scale systems⁽¹⁰⁾. The study period included the late dry season (April-May) and late rainy season (August-September), 2003. Average daily milk production was 17 ± 4.6 L d⁻¹ during the dry season and 16 ± 2.7 L d⁻¹ in the rainy season. Average daily temperature and rainy precipitation were 14.5, 14.7, 13 and 13.2 °C and 40, 50, 148 and 125 mm for April, May, August and September, respectively.

Blood and forage samples were collected in the morning on the same day at all four sites (Table 1). Samples (0.5 kg) were also taken of feeds supplied as complements. Because producers sold some animals during the study, 90 % of the blood samples were taken from the same cows in both seasons, and the remaining 10 % from different cows. Samples were taken with vacutainer needles and tubes by direct puncture of the jugular vein. Blood samples were processed by centrifugation at 2,500 rpm for 10 min at 4 °C, and the sera were stored at -20 °C. The frozen sera were thawed, deproteinized with trichloroacetic acid and stored at 4 °C until analysis was performed. Evaluation of body condition⁽¹¹⁾ was done visually for each cow immediately after the blood sample was taken.

Forage was collected using the hand plucking technique⁽¹²⁾, removing for analysis the portion of the plant that a cow would eat while grazing. The

Cuadro 1. Total de muestras de suero sanguíneo y forraje analizadas por localidad, unidad de producción y época del año

Table 1. Total number of blood and forage samples analyzed by site, production unit and season

Site	Production units	Blood/season		Forage/season	
		Dry	Rainy	Dry	Rainy
1. San Cristóbal	5	25	23	17	31
2. Benito Juárez	3	16	15	7	13
3. Jilotepec	3	17	15	4	4
4. El Cerrillo	1	14	14	6	5
Total	12	72	67	34	53

n = Total samples: blood = 139; forage = 87

inmediatamente después de cada muestreo de sangre. El forraje se colectó mediante la técnica "Hand Plucking"⁽¹²⁾; se obtuvieron las partes de la planta que el animal consumía durante el pastoreo. El número de muestras de forraje fue diferente según la superficie del área de pastoreo de cada unidad de producción. El forraje fue secado a 60 °C, molido con malla de 1 mm y almacenado hasta su análisis. Las muestras de suero y forraje se procesaron según las recomendaciones de Fick *et al*⁽¹³⁾ para su análisis de minerales. En el forraje, alimentos y suero se determinó P por colorimetría⁽¹⁴⁾; Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe y Zn por espectrofotometría de absorción atómica⁽¹³⁾; y Se por espectrofluorometría⁽¹⁵⁾. En el forraje y otros alimentos se midió además el Mn⁽¹³⁾. Las variables de respuesta fueron las concentraciones de minerales en el forraje y el suero, las cuales se analizaron mediante un modelo para un diseño experimental

number of forage samples differed according to the grazing area of each production unit. After collection, forage was dried at 60 °C, grounded through 1 mm mesh and stored until laboratory analysis.

Serum, feed and forage samples were processed for mineral analysis following Fick *et al*⁽¹³⁾ technique. P was determined by colorimetry⁽¹⁴⁾; Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe and Zn by atomic absorption spectrophotometry⁽¹³⁾; and Se by spectrofluorometry⁽¹⁵⁾. Forage and feeds were also analyzed for Mn⁽¹³⁾. Response variables were forage and serum mineral concentration. These were analyzed with a model for a completely randomized experimental design with factorial arrangement using the GLM procedure of SAS program⁽¹⁶⁾. Forage factors (site and season) were analyzed with the model: $Y_{ijkl} = \mu + \text{Season}_i + \text{Site}_j + \text{Season} \times \text{Site}_{ij} + E_{ijkl}$. Serum factors (site, season and body

Cuadro 2. Concentración mineral promedio (% , ppm de la MS) en forraje rye grass (*Lolium perenne*) de cuatro localidades de producción de leche durante dos épocas

Table 2. Average mineral concentration (% or ppm DM) in rye grass (*Lolium perenne*) forage from four sites during two seasons

Site/season	Ca	K	Na	Mg	Cu	Mn
	(%)				(ppm)	
San Cristóbal	0.583 ^a	1.107 ^c	0.451 ^a	0.284 ^a	14.681 ^a	135.02 ^b
Benito Juárez	0.404 ^b	1.187 ^{bc}	0.355 ^a	0.211 ^a	12.636 ^b	348.91 ^a
Jilotepec	0.254 ^b	1.807 ^{ba}	0.083 ^b	0.172 ^b	9.862 ^c	67.46 ^b
El Cerrillo	0.388 ^b	1.947 ^a	0.114 ^b	0.244 ^a	12.949 ^b	67.14 ^b
MSE	0.03	0.09	0.04	0.01	0.43	28.60
Dry season	0.55 ^x	1.28 ^x	0.36 ^x	0.26 ^x	13.47 ^x	164.55 ^x
Rainy season	0.44 ^y	1.30 ^x	0.34 ^x	0.24 ^x	13.35 ^x	172.50 ^x
MSE	0.010	0.002	0.002	0.002	0.01	0.85
General mean	0.487	1.296	0.353	0.252	13.52	169.39
Critical content ¹	0.30	0.60	0.06	0.20	10.0	30-40
Requirments ²	0.51	0.90	0.18	0.20	10.0	40.0
Deficient ³	20(22)	19(21)	8(9)	27(31)	14(16)	2(2)

MSE = Mean standard error.

¹Bibliographic references^(2,5,16,28,29).

²Requirements for Holstein cow (400 kg live weight) with milk production of 16 kg per day^(18,39).

³Number and percentage of deficient samples.

abc, xy Values with different letter superscripts in the same column are different ($P < 0.05$); n=87 samples.

completamente al azar con arreglo factorial, usando el procedimiento GLM de SAS⁽¹⁶⁾. Para forraje (factores; localidad y época) según el modelo: $Y_{ijkl} = \mu + \text{Época}_i + \text{Loc}_j + \text{Época}*\text{Loc}_{ij} + E_{ijkl}$. Para suero (factores; localidad, época y condición corporal (CC) según el modelo: $Y_{ijkl} = \mu + \text{Época}_i + \text{Loc}_j + \text{CC}_k + \text{Época}*\text{Loc}_{ij} + \text{Época}*\text{CC}_{ik} + \text{Loc}*\text{CC}_{jk} + \text{Época}*\text{Loc}*\text{CC}_{ijk} + E_{ijkl}$. En la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey⁽¹⁷⁾. Para estudiar la correlación entre minerales del forraje y suero sanguíneo, se hicieron análisis de correlación, y regresión múltiple por el procedimiento stepwise de SAS⁽¹⁶⁾.

Las concentraciones de minerales en el forraje de cada localidad y época, así como de la interacción localidad con época, se muestran en los Cuadros 2

condition [BC]) were analyzed with the model: $Y_{ijkl} = \mu + \text{Season}_i + \text{Site}_j + \text{BC}_k + \text{Season}*\text{Site}_{ij} + \text{Season}*\text{BC}_{ik} + \text{Site}*\text{BC}_{jk} + \text{Season}*\text{Site}*\text{BC}_{ijk} + E_{ijkl}$. Comparison of means was done with the Tukey test⁽¹⁷⁾. The correlation between forage and serum mineral content was evaluated through a correlation analysis and a multiple regression with the stepwise procedure of SAS⁽¹⁶⁾.

Forage mineral concentrations by site and season, as well as the interaction between site and season are shown in Tables 2 and 3. Serum mineral concentrations by site, season and body condition, as well as the interactions between these factors, are shown in Tables 4 and 5. Significant differences ($P < 0.05$) were observed between sites and seasons, and in the site/season interaction.

Cuadro 3. Efecto de la interacción localidad con época en la concentración de P, relación Ca:P, Fe, Zn y Se de forraje rye grass (*Lolium perenne*)

Table 3. Effect of site/season interaction on P, Fe, Zn and Se concentrations, and Ca:P ratio, in rye grass (*Lolium perenne*) forage

Site	Season	(P)	Ca:P	Fe	Zn	Se
				(ppm)		
San Cristobal	Dry	0.29 ^{bc}	2.34 ^a	343.1 ^a	26.29 ^a	0.0035 ^a
	Rainy	0.33 ^{bc}	1.59 ^{ab}	200.8 ^{abc}	24.20 ^a	0.0031 ^{ab}
Benito Juárez	Dry	0.24 ^c	2.24 ^a	225.6 ^{abc}	14.60 ^{bc}	0.0030 ^{ab}
	Rainy	0.32 ^{bc}	1.00 ^{bc}	123.6 ^c	22.60 ^{ab}	0.0039 ^a
Jilotepec	Dry	0.28 ^{bc}	1.07 ^{bc}	222.1 ^{abc}	11.87 ^c	0.0019 ^c
	Rainy	0.36 ^{ab}	0.56 ^c	160.0 ^{bc}	10.71 ^c	0.0035 ^a
El Cerrillo	Dry	0.44 ^a	0.79 ^{bc}	166.4 ^{abc}	25.71 ^a	0.0023 ^{bc}
	Rainy	0.36 ^{ab}	1.20 ^{bc}	322.0 ^{ab}	24.13 ^a	0.0039 ^a
General mean		0.320	1.550	222.8	22.54	0.0033
MSE		0.020	0.186	551.9	1.955	0.0002
(Pr. > F)		0.01	0.01	0.03	0.01	0.01
Critical level ¹		0.25	1:1	30.0	30.0	0.02
Requirements ²		0.33	1.2-2:1	50.0	40.0	0.30
Deficient ³		14(16)	25(28)	0(0)	80(92)	87(100)

MSE = mean standard error.

¹ Bibliographic references^(2,5,16,28,29).

² Requirements for Holstein cow (400 kg live weight) with milk production of 16 kg per day^(18,39).

³ Number and percentage of deficient samples.

^{abc} Values with different letter superscripts in the same column are significantly different according to the indicated probability.

y 3; y en el suero sanguíneo según localidad, época, condición corporal e interacciones en los Cuadros 4 y 5. Se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre localidades y épocas del año, y por efecto de la interacción localidad por época.

Calcio

La concentración de Ca en el forraje de las localidades 2, 3 y 4 fue menor al requerimiento (0.51 %) de una vaca en producción⁽¹⁸⁾. La concentración de Ca fue menor en las lluvias. El contenido de Ca es menor en forrajes maduros por su baja movilidad en la planta⁽²⁾. El contenido de Ca estuvo correlacionado ($P < 0.001$) con el de Mg ($r = 0.71$), Cu ($r = 0.67$) y Zn ($r = 0.51$); esto se explica porque la disponibilidad de Mg para la planta depende del Ca y el pH del suelo, además, el aumento de Ca en suelo ácido favorece el paso del Mg a la raíz; por otro lado, el bajo contenido de Al, Mn y Fe en pH ácido, aumentan el Cu y Zn, sin afectar el Ca en la planta⁽¹⁹⁾.

En todas las localidades el contenido de Ca en suero fue alto⁽¹⁸⁾, principalmente en San Cristóbal. En un estudio se encontró exceso de Ca en suelo, pastos nativos y suero de ovinos del Valle de Toluca, México⁽²⁰⁾. Aunque el Ca de los forrajes fue bajo en tres localidades, las altas concentraciones en el suero pueden deberse al consumo del concentrado, premezclas minerales y pollinaza (Cuadros 6 y 7). El calcio en el suero fue mayor en las lluvias, aunque esto no coincide con el Ca del forraje, se puede atribuir al Ca ingerido en el concentrado (Cuadro 6), y a la resorción ósea durante la lactación⁽²¹⁾. El contenido de Ca en el suero estuvo correlacionado ($P < 0.001$) con el de Mg ($r = 0.71$), y ambos minerales fueron ligeramente altos.

Fósforo

Las concentraciones de P en el forraje de las cuatro localidades fueron mayores al valor crítico, pero en las localidades 1, 2 y 3 fue menor al requerimiento (0.33 %)⁽¹⁸⁾. La interacción localidad con época se debió a que el P en los forrajes de las localidades 2 y 3 fue menor ($P < 0.05$) en la época seca (Cuadro 3) y sólo en la localidad 4 fue

Cuadro 4. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos productores de leche en cuatro localidades durante dos épocas del año

Table 4. Serum mineral concentration in dairy cows at four sites during two seasons

	Ca	Mg	Fe
	— (mg dl ⁻¹) —		(µg ml ⁻¹)
San Cristóbal	17.12 ^a	3.54 ^a	1.90 ^{ab}
Benito Juárez	16.61 ^b	3.03 ^b	1.81 ^b
Jilotepec	15.77 ^{bc}	3.50 ^a	1.79 ^b
El Cerrillo	15.18 ^c	2.94 ^b	2.40 ^a
MSE	0.15	0.05	0.05
Dry season	15.64 ^y	0.34 ^x	1.80 ^y
Rainy season	16.99 ^x	0.24 ^x	2.13 ^x
MSE	0.11	0.01	0.03
†Poor body condition	16.16 ^w	3.08 ^z	1.80 ^z
†Good body condition	16.40 ^w	3.47 ^w	2.09 ^w
MSE	0.02	0.03	0.02
General mean	16.29	3.29	1.96
Critical content ¹	8.0	1.8	1.30
Deficient ²	0/0	3/2	0/0

†Body condition on a scale of 1 to 5 points.

MSE = mean standard error.

¹ Bibliographic references (5,16,28,29).

² Number and percentage of deficient samples.

abc, xy, wz Values with different letter superscripts in the same column are different ($P < 0.05$); n=139 samples.

Calcium

Forage Ca concentrations at sites 2, 3 and 4 were under the minimal requirements recommended for lactating cows (0.51 %)⁽¹⁸⁾, and levels were lowest during the rainy season. Due to its low mobility, Ca concentration is lower in mature forage⁽²⁾. Calcium concentration was correlated ($P < 0.001$) with Mg ($r = 0.71$), Cu ($r = 0.67$) and Zn ($r = 0.51$) concentrations. This probably results from Mg availability being linked to soil Ca and pH: increased Ca in acidic soils favors Mg uptake by the roots. Low Al, Mn and Fe contents in acidic pH increases Cu and Zn uptake without affecting plant Ca concentration⁽¹⁹⁾.

Serum Ca concentration was high at all sampled sites⁽¹⁸⁾, especially in San Cristobal (site 1). Excess

DIAGNÓSTICO MINERAL EN FORRAJE Y SUERO SANGUÍNEO

Cuadro 5. Efecto de la interacción localidad con época en la concentración de minerales, en suero sanguíneo de bovinos productores de leche

Table 5. Effect of site/season interaction on serum mineral concentration in dairy cows

Site	Season	(mg dl ⁻¹)		(mg dl ⁻¹)		(µg dl ⁻¹)		
		P	Ca:P	K	Na	Cu	Zn	Se
San Cristóbal	Dry	5.35 ^{de}	3.55 ^a	28.93 ^a	519.3 ^a	0.60 ^{de}	0.66 ^{abc}	0.176 ^{ab}
	Rainy	8.62 ^a	2.07 ^b	25.54 ^{abc}	506.6 ^a	1.00 ^a	0.63 ^{abc}	0.118 ^{cde}
Benito Juárez	Dry	4.07 ^e	4.00 ^a	22.97 ^c	442.0 ^{bc}	0.36 ^f	0.66 ^{abc}	0.127 ^{bcde}
	Rainy	5.87 ^{cde}	3.71 ^a	23.89 ^{bc}	492.3 ^a	0.85 ^{ab}	0.90 ^a	0.078 ^e
Jilotepec	Dry	8.75 ^a	1.80 ^b	29.16 ^a	485.7 ^{ab}	0.46 ^{ef}	0.86 ^{ab}	0.199 ^a
	Rainy	7.94 ^{ab}	2.12 ^b	27.10 ^{ab}	496.3 ^a	0.78 ^{bc}	0.55 ^c	0.171 ^{abc}
El Cerrillo	Dry	6.64 ^{bcd}	2.16 ^b	23.72 ^{bc}	404.3 ^c	0.64 ^{cd}	0.62 ^{bc}	0.105 ^{de}
	Rainy	7.10 ^{abc}	2.33 ^b	22.78 ^c	464.4 ^{ab}	0.87 ^{ab}	0.50 ^c	0.147 ^{abcd}
General mean		6.77	2.75	25.81	480.5	0.70	0.670	0.142
MSE		0.548	0.348	1.20	15.75	0.053	0.089	0.018
(Pr. > F)		0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01
Critical level ¹		4.00	1.1:1	15.20	303.6	0.80	0.80	0.06
Deficient ²		20(14)	1(0.7)	0(0)	1(0.7)	100(71)	111(79)	0(0)

MSE = Mean standard error.

¹ Bibliographic references (5,16,28,29).

² Number and percentage of deficient samples.

abcdef Values with different letter superscripts in the same column are significantly different according to the indicated probability.

mayor; en consecuencia, en la época seca, el P fue menor al requisito de hembras con producción diaria de 16 kg de leche⁽¹⁸⁾. La sequía reduce el P en el *L. perenne* de 0.26 a 0.18 %, por el lento crecimiento y aumento de la temperatura⁽²⁾. La localidad 2 tuvo el promedio más bajo de P en suero, esto coincidió con su menor valor en el forraje. El P en el suero disminuye cuando hay exceso de calcio, más aún si la dieta es baja en P; en contraste, aumenta por bajo consumo de Ca, exposición al frío, ayuno, deshidratación y estrés⁽²⁾; su concentración en suero también es afectada por la edad, el estado fisiológico y la época del año⁽²²⁾. En Jilotepec, aunque el forraje tuvo 0.32 % de P, en el suero fue alto (8.37 mg dl⁻¹), esto puede atribuirse al consumo de pollinaza que tuvo 1.28 % de Ca y 1.35 % de P. Por lo tanto, el bajo contenido de Ca y P en los forrajes (Cuadros 2 y 3) fue complementado. Segura *et al*⁽²³⁾ lograron aumentar el P sérico (de 4.53 a 6.84 mg dl⁻¹) al dar pollinaza a bovinos en pastoreo. El efecto de la interacción

calcium has been reported in soils, native grasses and sheep sera in the Toluca Valley⁽²⁰⁾, although the present results show forage Ca to be low at three of the sites. The high serum Ca concentrations may therefore be due to intake of concentrate, mineral premixes and/or poultry manure (Tables 6,7). Serum Ca was higher during the rainy season, which did not coincide with forage Ca. This can probably be attributed to Ca intake from concentrate (Table 6) and bone reabsorption during lactation⁽²¹⁾. Serum Ca content was correlated ($P < 0.001$) with Mg ($r = 0.71$), with both minerals being present at slightly elevated levels.

Phosphorous

Forage P concentrations were higher than the critical value at all four sites, but lower than the minimum requirement (0.33 %)⁽¹⁸⁾ at sites 1, 2 and 3. The site/season interaction for P was due to low ($P < 0.05$) forage P at sites 2 and 3, and high

localidad con época en la concentración de P en el suero se debió a que en los bovinos de las localidades 1, 2 y 4 fue mayor ($P < 0.01$) en las lluvias (Cuadro 5), pero en la localidad 3 fue mayor en la época seca. Normalmente el P en suero es mayor en las lluvias ya que los rebrotes del forraje tienen más minerales⁽²⁴⁾. El P del forraje tuvo correlación negativa con el de Zn en suero; según Church y Pond⁽²⁵⁾, el exceso de P reduce la absorción de Zn.

Relación Ca:P

En las localidades 1 y 2, en la época seca, la relación Ca:P en el forraje fue adecuada, y en el resto fue inferior a la normal (2:1)⁽¹⁸⁾; en la localidad 3 en las lluvias y en la 4 en la época seca la relación estuvo invertida. En la época de lluvias se observó mayor problema en las relación Ca:P, quizá por el menor contenido de Ca del forraje (Cuadro 2). En el suero (Cuadro 5), en la localidad 1 en la época seca y en la localidad 2 en ambas épocas, la relación Ca:P fue amplia, quizá por la alta concentración de Ca en el suero encontrada en

forage P at site 4 during the dry season (Table 3). Consequently, during this season P levels were lower than levels required by cows with a milk production of 16 kg d⁻¹⁽¹⁸⁾. Due to slow growth and increased temperature, P decreases from 0.26 to 0.18 % in *L. perenne* during the dry season⁽²⁾.

Average serum P concentration was lowest at site 2, which coincided with the lowest forage P concentration. Serum P also decreases with excess of Ca, which is exacerbated in diets with low P. Intake of P increases, however, in response to low Ca intake, exposure to cold, hunger, dehydration and stress⁽²⁾. Concentration of P in serum can be affected by age, physical condition and season⁽²²⁾. Forage P at Jilotepec (site 3) was 0.32 %, but serum P was 8.37 mg dl⁻¹, probably due to complementing low diets P and Ca levels with poultry manure containing 1.28 % Ca and 1.35 % P (Tables 2 and 3). This possibility is supported by Segura *et al*⁽²³⁾, who increased serum P from 4.53 to 6.84 mg dl⁻¹ by feeding poultry manure to grazing cattle. The effect of the site/season interaction on serum P was due to the higher

Cuadro 6. Concentración de macrominerales (% BS) de insumos utilizados en la alimentación de bovinos lecheros en sistemas de producción en cuatro localidades, durante dos épocas

Table 6. Macromineral concentrations (% DM) of inputs used in dairy cow feed at four sites and during two seasons

Site	Feed†	n		Ca:P			K Na Mg			n		Ca:P			K Na Mg		
		Dry	Ca	P	Ca:P	K	Na	Mg	Rainy	Ca	P	Ca:P	K	Na	Mg		
San Cristóbal	Corn meal	4	0.005	0.28	0.02	0.22	0.01	0.09									
	Corn stover	4	0.20	0.08	2.87	0.49	0.04	0.10	3	0.22	0.11	2.15	0.30	0.03	0.16		
	Concentrate	4	1.09	0.57	2.22	0.41	0.43	0.27	3	1.48	0.76	2.27	0.67	0.61	0.33		
	Minerals	1	8.94	1.72	5.20	0.20	37.0	0.69	1	8.63	0.01	799.0	7.79	16.8	0.26		
Benito Juárez	Corn meal	3	0.007	0.30	0.02	0.27	0.01	0.07	3	0.01	0.28	0.04	0.26	0.01	0.09		
	Corn stover	3	0.23	0.08	2.90	0.44	0.04	0.14	2	0.29	0.09	2.95	0.49	0.03	0.15		
	Concentrate	1	1.15	0.59	1.96	0.39	0.40	0.32	1	1.92	0.68	2.85	0.70	0.37	0.36		
	Minerals	1	0.19	0.01	17.19	0.17	33.4	0.11	1	0.03	0.01	2.82	0.26	9.69	0.00		
Jilotepec	Corn meal	3	0.02	0.26	0.07	0.25	0.01	0.11									
	Corn stover	1	0.18	0.44	1.11	1.07	0.23	0.20									
	Concentrate	2	1.68	0.68	2.48	0.73	0.30	0.32	3	1.49	1.06	1.40	1.16	0.41	0.38		
	Minerals	1	7.70	0.01	712.9	0.26	28.3	0.05									
	Poultry manure	1	1.28	1.35	0.94	1.30	0.40	0.41									
El Cerrillo	Hay forage								2	0.22	0.26	0.90	0.96	0.27	0.15		
	Corn silage	1	0.61	0.64	0.95	1.44	0.06	0.52	1	0.68	0.55	1.23	2.65	0.09	0.50		
	Concentrate								1	0.55	0.55	1.00	0.65	0.29	0.25		

Laboratory analyses.

DIAGNÓSTICO MINERAL EN FORRAJE Y SUERO SANGUÍNEO

Cuadro 7. Concentración de microminerales de insumos utilizados en la alimentación de bovinos lecheros en cuatro localidades durante dos épocas

Table 7. Micromineral concentrations of inputs used in dairy cow feed at four sites and during two seasons

Site	Feed	Dry(n)	(ppm)					Rainy(n)	(ppm)				
			Cu	Fe	Zn	Se	Mn		Cu	Fe	Zn	Se	Mn
San Cristóbal	Corn meal	4	6.9	20.1	15.5	0.003	5.4						
	Corn stover	4	9.3	169.4	27.4	0.003	69.9	3	10.3	278.5	9.0	0.003	82.3
	Concentrate	4	32.9	416.2	120.6	0.006	98.6	3	37.2	578.3	199.9	0.005	127.7
	Minerals	1	148.2	7833.3	397.1	0.018	509.2	1	22.3	616.7	31.8	0.003	32.5
Benito Juárez	Corn meal	3	7.3	35.8	19.3	0.003	8.1	3	8.9	49.0	20.4	0.003	7.8
	Corn stover	3	6.3	565.7	11.6	0.004	152.9	2	9.8	276.6	11.8	0.004	181.4
	Concentrate	1	27.1	429.4	200.7	0.004	76.6	1	21.0	211.8	61.1	0.005	82.7
	Minerals	1	4.3	61.7	80.5	0.003	7.1	1	7.9	11.7	3.9	0.004	25.6
Jilotepec	Corn meal	3	10.5	38.4	20.4	0.002	8.7						
	Corn stover	1	11.5	67.5	48.1	0.002	106.3						
	Concentrate	2	21.4	353.4	111.3	0.003	126.4	3	178.0	512.7	187.9	0.009	258.8
	Minerals	1	11.5	111.7	15.1	0.002	9.5						
	Poultry manure Hay forage	1	34.5	842.1	1529	0.004	321.6						
El Cerrillo	Corn silage	1	32.4	517.4	69.7	0.002	140.8	1	42.3	594.8	55.0	0.003	140.2
	Concentrate							1	32.7	283.6	84.0	0.004	81.9

Laboratory analyses.

las cuatro localidades (Cuadro 4). Sólo en la localidad 4, en la época seca la relación Ca:P en suero fue menor de 2:1 (Cuadro 5). Se observó correlación positiva entre la relación Ca:P del forraje con el contenido de Ca y P en el suero; esto puede indicar que el contenido de P del forraje y de Ca de los alimentos permitió corregir la relación Ca:P del forraje, con ligero aumento de Ca en el suero⁽²⁶⁾.

Potasio

En todas las localidades el contenido de K en el forraje fue similar al requerido (0.9 %) por vacas en producción⁽¹⁸⁾. El ganado en pastoreo recibe suficiente K porque normalmente su contenido en el forraje es alto⁽¹⁾. El contenido de K estuvo correlacionado negativamente ($P < 0.01$) con el de Na ($r = -0.68$); en forrajes de clima templado el aumento de K reduce el Na; además, el contenido de Na del forraje varía con el nivel de Na y K en el suelo⁽²⁾.

La concentración de K en el suero fue normal, por lo tanto, el contenido de K del forraje se reflejó en

($P < 0.01$) serum P at sites 1, 2 and 4 during the rainy season (Table 5) and at site 3 during the dry season. Phosphorous levels in serum normally increase during the rainy season because forage sprouts contain higher mineral concentrations⁽²⁴⁾. Forage P was negatively correlated to serum Zn, which is to be expected since excess P reduces Zn absorption⁽²⁵⁾.

Ca:P ratio

The forage Ca:P ratio was adequate at sites 1 and 2 in the dry season, but was lower than normal (2:1)⁽¹⁸⁾ in all others; it was reversed at site 3 in the rainy season and site 4 in the dry season. The Ca:P ratio was more problematic during the rainy season, probably because of lower forage Ca content (Table 2). At site 1 in the dry season and site 2 in both seasons, the Ca:P ratio in serum was high, perhaps due to the high serum Ca concentration at all four sites (Table 4). The Ca:P ratio was less than 2:1 only at site 4 during the dry season (Table 5). A positive correlation was observed between the forage Ca:P ratio and serum Ca and P content, possibly indicating that forage P and feed Ca helped

el suero; además, el K aportado en el concentrado es muy soluble y tiene alta absorción⁽⁸⁾. La concentración de K en el suero de los bovinos de las localidades 1, 3 y 4 fue mayor ($P < 0.05$) en la época seca, en contraste en la localidad 2 fue mayor durante las lluvias (Cuadro 5).

Sodio

En las localidades 1 y 2 el contenido de Na en el forraje fue alto, pero en la 3 y 4 fue menor al requerido (0.18 %) por bovinos lecheros⁽¹⁸⁾ (Cuadro 2). El Na en la planta es muy variable (en este estudio fue de 0.08 a 0.45 %), debido a la presencia de Na en la atmósfera y a factores geoquímicos⁽²⁾.

El Na en el suero no fue bajo en ninguna localidad, se asume que el Na del forraje fue complementado con el Na de los otros alimentos, sobre todo en las localidades 3 y 4; además, los bovinos lo conservan mejor cuando es deficiente en la dieta excretando menos Na en orina, heces y saliva⁽²⁷⁾. Las concentraciones de Na en el suero fueron mayores en las localidades 2 y 4 en la época de lluvias ($P < 0.05$) (Cuadro 5).

Magnesio

En la localidad 3 el forraje fue pobre en Mg, quizá debido al mayor contenido de K del mismo forraje⁽¹⁾. El promedio de Mg en el suero no fue bajo, a pesar de que 27 de las muestras de forraje fueron deficientes; la concentración de Mg en plasma sólo disminuye en casos de deficiencia severa en la dieta⁽²⁸⁾. La correlación negativa del contenido de K en forraje con el de Mg en suero es porque un exceso de K es antagonista del Mg⁽²⁸⁾. El 31 % de las muestras de forraje fue bajo en Mg (Cuadro 2), y este es poco disponible para rumiantes adultos⁽²⁷⁾; esto puede explicar la correlación negativa entre el Mg en el forraje y Mg en suero, aunque los bovinos no mostraron deficiencia de Mg. Las hembras con condición corporal pobre tuvieron una menor concentración (Cuadro 4).

Cobre

En la localidad 3 su contenido en forraje fue menor al valor crítico. Esto coincide con lo indicado por

to correct the forage Ca:P ratio, leading to a slight increase in serum Ca⁽²⁶⁾.

Potassium

Forage K content at all sites was similar to required levels (0.9 %) for producing cows⁽¹⁸⁾. Grazing cattle normally receive sufficient K because forage contains high K levels⁽¹⁾. There was a negative correlation ($P < 0.01$) between K and Na ($r = -0.68$) contents. In forages in temperate climates K reduce Na, and forage Na varies depending on soil Na and K levels⁽²⁾.

Serum K concentrations were normal, indicating that forage K content was reflected in the serum. Concentrates also provide highly soluble K that allows for high absorption⁽⁸⁾. Serum K was higher ($P < 0.05$) at sites 1, 3 and 4 during the dry season, whereas it was highest at site 2 during the rainy season (Table 5).

Sodium

Forage Na content at sites 1 and 2 was higher than levels required by dairy cows (0.18 %)⁽¹⁸⁾, but was even lower at sites 3 and 4 (Table 2). This discrepancy is probably the result of variable plant Na content (0.08 to 0.45 % in the present study) caused by atmospheric Na and geochemical factors⁽²⁾.

Serum Na was above required levels at all four sites. This may be accounted for by the Na complemented in the feeds, especially at sites 3 and 4, and the fact that bovids efficiently conserve dietary Na by excreting less Na in the urine, feces and saliva⁽²⁷⁾. Serum Na concentrations were highest ($P < 0.05$) at sites 2 and 4 during the rainy season (Table 5).

Magnesium

Forage Mg content was low at site 3, probably due to the higher forage K content⁽¹⁾. Average serum Mg levels were not low, even though 27 of the forage samples had low Mg levels; serum Mg only decreases in cases of severe dietary deficiency⁽²⁸⁾. A negative correlation between forage K and serum

Huerta⁽²⁹⁾ y Domínguez⁽²⁰⁾ sobre las carencias de Cu en suelos y forrajes de varias zonas de México; además, cuando los suelos son deficientes en Cu, puede resultar en una carencia primaria en el animal⁽⁸⁾.

En las cuatro localidades, en la época seca, la concentración de Cu en el suero fue menor al valor crítico, principalmente en las localidades Benito Juárez y Jilotepec (Cuadro 5); en ésta última el Cu también fue bajo en el forraje. Forrajes con menos de 10 ppm de Cu predisponen a carencias en el animal; pero dietas con 3 ppm de Mo causan deficiencia aun con 10 ppm de Cu⁽²²⁾. Excesos de Fe, S, Mo y Zn^(8,28) afectan su metabolismo y causan deficiencia de Cu. Durante las lluvias, la concentración de Cu en el suero fue mayor y superó al valor crítico; pero los aumentos de Mo y S en la planta, que normalmente ocurren en la misma época, pueden reducir su disponibilidad en el forraje fresco⁽²²⁾.

Hierro

El contenido de Fe en el forraje fue alto en las cuatro localidades y en ambas épocas; el Fe en exceso reduce la absorción de Cu y Zn, inclusive es tóxico⁽¹⁸⁾. La interacción localidad con época afectó ($P < 0.05$) el contenido de Fe debido a que en los forrajes de las localidades 1, 2 y 3 fue mayor ($P < 0.03$) en la época seca, mientras que en la localidad 4 fue mayor en las lluvias (Cuadro 3). No hubo deficiencias de Fe en los bovinos y el rango de concentración de 1.90 a 2.40 $\mu\text{g ml}^{-1}$ es normal^(2,7). La deficiencia de Fe es rara en animales en pastoreo, pero puede ocurrir en hemorragias graves y parasitosis masivas⁽²⁴⁾. El contenido de Fe en el suero fue mayor durante las lluvias y en las vacas con buena condición corporal; en ambas épocas estuvo dentro del rango normal.

Zinc

En todas las localidades los forrajes tuvieron valores de Zn inferiores al requerimiento (40 ppm)⁽¹⁸⁾. Hubo efecto de la interacción localidad con época ya que la concentración de Zn en los forrajes de la localidad 2 fue mayor en las lluvias ($P < 0.01$), en tanto que en las localidades 1, 3 y 4 no difirió

Mg was observed, probably because excess K is antagonistic to Mg⁽²⁸⁾. Overall, only 31 % of the forage samples had low Mg (Table 2). The negative correlation between forage Mg and serum Mg may be explained by this mineral's low availability to adult ruminants⁽²⁷⁾. None of the sampled animals exhibited Mg deficiency, although cows with poor body condition did have the lowest concentrations (Table 4).

Copper

Forage Cu content was lower than the critical value at site 3, which coincides with reported soil and forage Cu deficiencies in different zones in Mexico^(29,30). Soils lacking Cu can lead to a primary shortage in the plant and animal⁽⁸⁾.

Serum Cu levels were lower than the critical value at all four sites during the dry season, but particularly at Benito Juárez (site 2) and Jilotepec (site 3) (Table 5). Forage Cu was also low at Jilotepec. Forages containing less than 10 ppm Cu can predispose to shortfalls in animals, although diets with 3 ppm Mo can cause deficiencies even when Cu is at 10 ppm⁽²²⁾. Excess Fe, S, Mo and Zn^(8, 28) can also lead to Cu deficiency. Serum Cu content increased, and surpassed the critical value, during the rainy season. Nonetheless, increases in Mo and S in the plant that normally occur during this season may decrease Cu availability in fresh forage⁽²²⁾.

Iron

Forage Fe content was high at all four sites in both seasons. Excess Fe, however, can decrease Cu and Zn absorption and can even be toxic⁽¹⁸⁾. The site/season interaction affected ($P < 0.05$) forage Fe content because at sites 1, 2 and 3 it was higher ($P < 0.03$) during the dry season, while at site 4 it was higher in the rainy season (Table 3). Serum Fe levels were within the normal range (1.90 - 2.40 $\mu\text{g ml}^{-1}$)^(2,7) at all sites and in both seasons; they were higher during the rainy season and in cows with good body condition. Deficiencies in Fe are rare in grazing animals but can lead to serious hemorrhage and massive parasitosis⁽²⁴⁾.

entre épocas ($P > 0.05$), pero en la localidad 3 la concentración fue menor ($P < 0.01$) que en las localidades 1 y 4 en las dos épocas (Cuadro 3). La absorción de Zn en la planta es menor en suelos alcalinos y altos en Ca⁽³⁰⁾. Según Huerta⁽²⁹⁾ el contenido de Zn es bajo en los forrajes de algunas regiones del centro de México.

En todas las localidades hubo valores bajos de Zn en el suero, el 79 % de las muestras tuvo menos de $0.8 \mu\text{g ml}^{-1}$; esto coincide con lo observado en el forraje, donde el 92 % de las muestras tuvo menos de 30 ppm de Zn⁽²²⁾. El total de Zn absorbido es afectado por su concentración en la dieta, con dietas bajas aumenta su absorción y viceversa⁽³⁰⁾. La concentración de Zn en los bovinos de la localidad 2 fue mayor ($P < 0.01$) en la época de lluvias, mientras que en la localidad 3 fue mayor ($P < 0.01$) en la época seca (Cuadro 5). Hubo correlación positiva entre el contenido de Ca en el forraje y el de Zn en suero; sin embargo, hubo correlación negativa entre el contenido de Zn en forraje y el de Ca en suero ($P < 0.01$); el exceso de Ca en la dieta reduce la absorción de Zn⁽³¹⁾; en este estudio el forraje no tuvo concentración alta de Ca, pero según los resultados si hubo exceso de Ca en otros de los alimentos ingeridos (Cuadro 6), esto pudo aumentar el Ca y reducir el Zn en el animal. El contenido de Zn fue bajo en ambas categorías de condición corporal (0.60 vs $0.73 \mu\text{g ml}^{-1}$). La triple interacción localidad por época por condición corporal no fue significativa ($P > 0.05$). La absorción de Zn es influida por el contenido de Zn, P, Cd, Cu, Ca, Fe y Mo en la dieta^(2,26,30); y por factores del animal como edad, genotipo y estado de salud⁽⁸⁾.

Selenio

En todas las localidades y en ambas épocas del año, el contenido de Se en el forraje fue bajo (< 0.02 ppm)⁽⁷⁾, e inferior a las necesidades del ganado⁽¹⁸⁾; hubo efecto de la interacción localidad con época en el contenido de Se de los forrajes ya que en las localidades 2, 3 y 4 fue mayor ($P < 0.01$) en las lluvias, pero en la localidad 1 fue mayor en la época seca (Cuadro 3). Jumba *et al*⁽³²⁾, señalaron que la precipitación influye en la cantidad de Se

Zinc

Forage Zn content was under the minimal requirements recommended for lactating cows (40 ppm)⁽¹⁸⁾ at all four sites. The site/season interaction had an effect upon forage Zn at site 2, it was higher ($P < 0.01$) in the rainy season, but was not different ($P > 0.05$) between seasons at sites 1, 3 and 4, but was lower ($P < 0.01$) at site 3 than sites 1 and 4 during both seasons (Table 3). Plant Zn absorption is lower in alkaline soils with high Ca⁽³⁰⁾; also Huerta⁽²⁹⁾ reported that forage Zn content is low in some regions of central Mexico.

Serum Zn content was low at all four sites and 79 % of the samples had values of $0.8 \mu\text{g ml}^{-1}$. This coincides with the low levels observed in the forage, in which 92 % of samples had less than 30 ppm Zn⁽²²⁾. Total absorbed Zn is affected by its dietary concentration, with diets containing low levels leading to increased absorption and vice versa⁽³⁰⁾. Serum Zn levels were highest ($P < 0.01$) at site 2 in the rainy season and at site 3 in the dry season ($P < 0.01$) (Table 5). A positive correlation was observed between forage Ca and serum Zn, but a negative correlation existed between forage Zn and serum Ca ($P < 0.01$). An excess of dietary Ca is known to decrease Zn absorption⁽³¹⁾. The studied forages did not have high Ca concentrations, although the feeds did contain excess Ca, which could have increased Ca and diminished Zn in the sampled animals. Cows with any body condition had low Zn (0.60 vs $0.73 \mu\text{g ml}^{-1}$), and the effect of the triple interaction of site/season/body condition was not statistically significant ($P > 0.05$). Absorption of Zn is influenced by dietary Zn, P, Cd, Cu, Ca, Fe and Mo^(2,26,30), as well as animal age, genotype and health⁽⁸⁾.

Selenium

Forage Se content was low (< 0.02 ppm)⁽⁷⁾ at all four sites and in both seasons, and was below the levels required by cattle⁽¹⁸⁾. Selenium levels below 0.02 ppm in forage can lead to muscular dystrophy in cattle⁽³³⁾. The site/season interaction affected forage Se content since sites 2, 3 and 4 had higher ($P < 0.01$) Se during the rainy season, but site 1 had higher levels during the dry season (Table 3).

del forraje; según Minson⁽²⁾, con 250 a 750 mm anuales, el Se en los forrajes varía de 0.26 a 0.36 ppm. En ninguna localidad la concentración de Se fue baja en el suero, lo que contrasta con las carencias en forraje y otros alimentos. La interacción localidad con época tuvo efecto ($P < 0.01$) en la concentración de Se debido a que en los bovinos de las localidades 1, 2 y 3 fue mayor en la época seca, pero en la localidad 4 fue mayor en la época de lluvias (Cuadro 5). La distrofia muscular en el animal puede ocurrir si el forraje tiene menos de 0.02 ppm de Se⁽³³⁾. El Se en el suero fue mayor en la época seca. El contenido de Se y la actividad de la glutatión peroxidasa son directamente proporcionales al consumo de Se; por lo tanto, su deficiencia depende de la duración y grado de privación del elemento⁽⁸⁾.

Manganeso

Se observó alta variación en el contenido de Mn en el forraje de las cuatro localidades (67.1 a 348.9 ppm), pero el promedio no fue inferior al valor crítico. Su contenido en la planta es muy variable (1 a 2,670 ppm), en parte por su diferente disponibilidad en el suelo durante su crecimiento⁽²⁾.

Las ecuaciones de regresión significativas ($P < 0.05$) que predijeron la concentración mineral en el suero de los bovinos se presentan en el Cuadro 8. El contenido de Ca (CaS) fue explicado por el P y la

This coincides with Jumba *et al*⁽³²⁾, who reported that rainfall influenced forage Se content. Minson⁽²⁾ stated that forage Se can vary from 0.26 to 0.36 ppm with annual rainfall between 250 and 750 mm.

Serum Se levels were not low at any of the sites, which contrasts with the Se shortfalls in the forage and feeds. The site/season interaction did affect ($P < 0.01$) serum Se since it was higher at sites 1, 2 and 3 in the dry season but higher at site 4 in the rainy season (Table 5). Overall, serum Se levels were higher during the dry season. Selenium content and peroxidase glutatión activity are directly proportional to Se intake and therefore the extent of deficiencies depends on the length and degree of Se shortfalls⁽⁸⁾.

Manganese

Forage Mn content varied widely (67.1 to 348.9 ppm) between the four sampled sites, although average levels were not below the critical value. Manganese content in *L. perenne* is also highly variable (1 to 2,670 ppm), partially due to its differing availability during growth⁽²⁾.

The significant ($P < 0.05$) regression equations that predicted serum mineral concentration (Table 8) showed serum Ca content (CaS) is explained by serum P content (PS) and the Ca:P ratio in serum,

Cuadro 8. Ecuaciones de regresión para predecir el contenido mineral en suero de bovinos productores de leche de cuatro localidades

Table 8. Regression equations for prediction of mineral content in the serum of dairy cows at four sites

General equation: $Y = z_0 + z_1x$ ó $Y = z_0 + z_1x_1 + z_2x_2$	R ²	P < 0.05
CaS = 3.662 + 0.734(PS) + 1.479(Ca:PS) - 0.154(CuF)	0.89	*
PS = 1.247 + 0.390(CaS) - 1.502(Ca :PS)	0.89	*
Ca :PS = 0.502 - 0.522(PS) + 0.278(CaS)	0.88	*
KS = 3.150 + 0.031(NaS)	0.77	*
NaS = 282.33 + 18871.43(KS) + 43833.28(ZnF)	0.87	*
FeS = 0.0144 + 0.0035(PS) - 0.0023(CaS) + 0.0069(Ca :PS)	0.99	*
CuS = 0.695 + 0.888(season)	0.66	*

Minerals in seum (S) = PS, CaS, Ca :PS, MgS, KS, NaS (mg dl⁻¹), CuS, FeS, ZnS, SeS (¼g ml⁻¹).

Minerals in forage (F) = PF, CaF, Ca :PF, MgF, KF, NaF (%), CuF, FeF, ZnF, MnF, SeF (ppm).

relación Ca:P en el suero y contenido de Cu en el forraje (CuF). El contenido de P fue explicado por el Ca y la relación Ca:P en el suero; la relación Ca:P fue explicada por el Ca y P en el mismo suero. Los contenidos de K y Na (KS y NaS) fueron explicados por sus respectivas concentraciones en el suero; la cantidad de Fe fue explicada por el P y Ca en el suero. Sólo el contenido de Cu fue explicado por la época del año, con menor concentración en la época seca. En la optimización de la producción de leche deben evitarse los desequilibrios en el balance ácido-base⁽⁸⁾, que pueden causar acidosis o alcalosis, siendo determinantes los cationes (Na^+ y K^+) y aniones (Cl^- y $\text{S}^{=}$). El ganado lechero es susceptible a padecer trastornos metabólicos cuando la demanda de nutrientes es mayor, periodo en el que también aumenta el riesgo de dar dietas deficientes en minerales⁽¹⁸⁾; por lo tanto, la ingestión, absorción y retención de minerales es fundamental para evitar problemas con el Ca (paresia del parto), Mg (tetania del pasto), y uso de P y Na⁽³⁴⁾. El K puede tener impacto en la diferencia catión-anión de la dieta (DCAD) y en consecuencia en la salud animal⁽³⁵⁾. La DCAD estima el potencial de la dieta para causar acidosis o alcalosis metabólica⁽³⁶⁾, y tiene efectos en la fisiología y productividad⁽³⁷⁾. Las hembras en lactación requieren una DCAD positiva⁽³⁸⁾, en esta fase el nivel alto de K mantiene la grasa de la leche y evita la acidosis ruminal. En vacas secas, la DCAD debe ser negativa para reducir la incidencia de hipocalcemia; además el K no debe superar el 1.5 % de la MS de la dieta⁽³⁶⁾.

Se concluye que el forraje tuvo concentraciones marginales o deficientes de Ca, P, Na, Zn y Se, inadecuada relación Ca:P, y exceso de Fe. Los bovinos presentaron cantidades marginales o deficientes de Cu y Zn, inapropiada relación Ca:P y exceso de Ca en suero. La carencia de Ca en el forraje y su exceso en el suero se observó durante las lluvias, en contraste el bajo contenido de P en el forraje ocurrió en la época seca. El forraje tuvo contenido bajo de Se y Zn, y alto de Fe en ambas épocas; pero el Se y Fe en el suero estuvieron dentro del rango normal. Las hembras de condición corporal pobre tuvieron menos P, Mg y Fe, y el Zn fue deficiente en ambas categorías de condición

and forage Cu content (CuF). Phosphorous content was explained by Ca content and the Ca:P ratio in serum, and the Ca:P ratio was explained by serum Ca and P contents. Serum K and Na contents were explained by their respective concentrations in serum, and Fe content was explained by serum P and Ca levels. Only serum Cu content was explained by season, with a lower concentration in the dry season.

To optimize milk production, acid-base imbalances must be avoided, since those can lead to acidosis or alkalosis. Cations (Na^+ and K^+) and anions (Cl^- and $\text{S}^{=}$) are vital to this balance. Dairy cows are susceptible to metabolic disorders when they require higher nutrient intake, which happen when they are at greater risk of receiving mineral-deficient diets⁽¹⁸⁾. The intake, absorption and retention of minerals, therefore, is fundamental to avoid problems derived from deficiencies in Ca (parturient paresis) and Mg (grass tetany), and the use of P and Na⁽³⁴⁾. Potassium can affect the dietary cation-anion difference (DCAD) and consequently overall animal health⁽³⁵⁾. The DCAD estimates a diet's potential to cause metabolic acidosis or alkalosis⁽³⁶⁾, and affects both physiology and productivity⁽³⁷⁾. Lactating cows require a positive DCAD⁽³⁸⁾ because high K in this phase maintains fat in milk and prevents ruminal acidosis. Dry cows require a negative DCAD so as to decrease the incidence of hypocalcaemia; K should also not exceed 1.5% dietary DM⁽³⁶⁾.

The studied forages had marginal or deficient Ca, P, Na, Zn and Se concentrations, an inadequate Ca:P ratio and excess Fe. The sampled cows exhibited marginal or deficient Cu and Zn levels, an inadequate Ca:P ratio and excess serum Ca. Shortfalls in forage calcium occurred during the rainy season whereas low forage P levels were observed in the dry season. The forage had low Se and Zn levels, and high Fe, during both seasons. However, serum Se and Fe remained within normal ranges. Cows with poor body condition had less P, Mg and Fe, but Zn was deficient in both body condition categories. Overall, the results suggest that the studied production systems could be improved by fertilization of soils to improve forage

corporal. Los resultados sugieren fertilizar el suelo para mejorar el aporte mineral en el forraje; y suplementar los minerales deficientes en el ganado y medir su impacto en la salud, reproducción y producción de leche.

mineral content, application of mineral supplements in cattle diets, and measurement of mineral concentration impact on animal health, reproduction and milk production.

End of english version

LITERATURA CITADA

1. McDowell LR, Valle G. Major minerals in forages. In: Givens DI, Owen E, Axford RFE, Omed HM editores. Forage evaluation in ruminant nutrition. London, UK: CAB International; 2000:373-397.
2. Minson DJ. Forages in ruminant nutrition. California, USA: Academic Press; 1990.
3. Underwood EJ. Trace elements in human and animal nutrition. New York, USA: Academic Press; 1997.
4. McPherson A. Trace mineral status of forage. In: Givens DI, Owen E, Axford RFE, Omed HM editores. Forage evaluation in ruminant nutrition. London, UK. CAB International; 2000:345-371.
5. Arriaga JC, Espinoza OA, Albarrán PB, Castelán OO, Rojo GH, Valdés MJL. Resultados en el mejoramiento participativo de sistemas campesinos de producción de leche en el Valle de Toluca. En: Rivera HG, Arellano HA, González DL, Arriaga JC editores. Investigación para el desarrollo rural: diez años de experiencias del CICA. Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado, Universidad Autónoma del Estado de México. 1997:319-351.
6. Zorrilla RJ, Ramírez VF, Salazar GG, Martínez LR, Padilla FJ. Descripción cualitativa y cuantitativa del sistema de lechería familiar en los altos de Jalisco, INIFAP-CIPAV, Jalisco. Memorias del seminario - taller nacional en sistemas de producción de leche en pequeña escala. Universidad Autónoma del Estado de México; 1997:11-12.
7. McDowell LR, Velásquez P, Valle G. *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Universidad de Florida. Gainesville, Florida, USA. 1997.
8. Underwood EJ, Suttle NF. Mineral nutrition of livestock. 3rd ed. London, UK: CAB International; 1999.
9. INEGI. Instituto nacional de estadística, geografía e informática. *Anuario estadístico. México*. Gobierno del Estado de México, México; 2003.
10. Castelán OOA, Matthewman RW. Situación y perspectivas de la industria lechera en México. Estrategias para el mejoramiento de los sistemas de producción de leche en pequeña escala. Castelán OOA editor. Universidad Autónoma del Estado de México, México. 1996.
11. Wildman EE, Jones GM, Wegner PE. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *J Dairy Sci* 1982;65:495-501.
12. Wayne CC. Collecting forages samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies. *J Anim Sci* 1964;23:265-270.
13. Fick KR, McDowell LR, Wilkinson NS, Funk DJ, Conrad JH, Valdivia R. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Depto. de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Florida, USA; 1979.
14. Harris WD, Popat P. Determination of the phosphorous content of lipids. *Am Oil Chem Soc* 1954;31:124.
15. AOAC. Official methods of analysis. 12th ed. Menasha, Wisconsin, USA: Association of Official Analytical Chemists; 1975.
16. SAS. SAS/STAT. User's Guide: Statistics (versión 8). Cary, NC, USA: SAS Inst. Inc. Statistical Analysis System Institute; 1999.
17. Steel RGD, Torrie JH. Principios y procedimientos de estadística. 2nd ed. New Cork, USA: McGraw Hill; 1980.
18. NRC. National Research Council. The nutrient requirements of dairy cattle. Washington, DC, USA: National Academic Press; 2001.
19. Pope AL. A review of recent mineral research with sheep. *J Anim Sci* 1971; 33:1332.
20. Domínguez VIA. Diagnóstico del estado mineral de ovinos bajo condiciones de pastoreo en Tenango del Valle, México [tesis maestría]. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo; 1993.
21. Sykes A, Geenty KC. Calcium and phosphorous balance on lactating ewes at pasture. *J Agric Sci Cambridge* 1986;15:113-116.
22. Huerta BM. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. Memorias II Seminario internacional estrategias de suplementación a bovinos en pastoreo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México; 1999:154-172.
23. Segura CVM, Tepal ChJA, Castellanos RAF, Carvajal AJ. La pollinaza como fuente fósforo para rumiantes en pastoreo. *Livest Res Rural Develop* 2000;2:12.
24. McDowell LR. Nutrition of grazing ruminants in warm climates. New York, USA: Academic Press; 1985.
25. Church DC, Pound WG. Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales. México, DF: Limusa-Noriega; 1987.
26. NRC. National Research Council. Mineral Tolerance of Domestic Animals. Washington, DC, USA. National Academic Sci; 1980.
27. ARC. Agricultural Research Council. The nutrient requirements of ruminant livestock. England: Commonwealth Bureax Farinham Royal; 1980.
28. McDowell LR, Conrad JH, Hembry FG, Rojas LX, Velásquez J. *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. 2nd ed. Universidad de Florida, Gainesville, USA; 1993.
29. Huerta BM. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. Memorias del Curso Alternativas de Manejo de Bovinos Carne en Pastoreo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México; 1997:19.

30. Miller WJ. Copper and zinc in ruminant nutrient. In: O'Dell B, Miller EK, Miller WJ editors. National Feeds Ingredients Association. 1979.
31. Gomide LW, Noller CH, Mott GO, Conrad JH, Hill DL. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agronomy* 1969(61):120-123.
32. Jumba IO, Suttle NF, Hunter EA, Wandiga SO. Effects of botanical composition, soil organic and composition on mineral concentrations in dry season pastures in western Kenya. In: Appleton JD, Fuge R, MacCall GJH editors. Environment geochemistry and health. London, UK: Geological Society Special Publication 1996;113:39-45.
33. Whelan BR, Peter DW, Barrow NJ. Selenium fertilizers for pastures grazed by sheep. I. Selenium concentrations in whole blood and plasma. *Australian J Agric Res* 1994;45:863-875.
34. Chiy PC, Phillips CJC. Sodium nutrition of dairy cows. In: Phillips CJC editor. Progress in dairy science, UK: CAB International; 1996:29-44.
35. Cherney JH, Cherney DJR, Bruulsema TW. Potassium Management. In: Cherney JH, Cherney DJR editores. Grass for dairy cattle. London, UK: CAB International; 1998.
36. Oetzel GR. Feed Supplements: Anionic salts. In: Federick JW, Fox PF editors. Encyclopedia of dairy science. USA: Academic Press; 2002(2):985-991.
37. Beede DK. Cation-anion difference in dairy rations: dealing with high potassium content in alfalfa. In: Certified Alfalfa Seed Council, Inc. Proceed 26th Nat Alfalfa Symp. CA, USA; 1996.
38. Sánchez WK, Beede DK, DeLorenzo MA. Macromineral element interrelationship and lactacional performance: empirical models from a large data set. *J Dairy Sci* 1994;77:3096-3110.
39. NRC. National Research Council. The nutrient requirements of dairy cattle. Washington, DC, USA: National Academic Press; 1988.