CONCENTRACION MINERAL EN PRADERAS Y BOVINOS EXPUESTOS A LA ERUPCION DEL COMPLEJO VOLCANICO LONQUIMAY[1]

FERNANDO WITTWER[2], OSCAR ARAYA[3], ALEJANDRO CEBALLOS[4] y HELGA BÖHMWALD[5]

RESUMEN - El Volcán Lonquimay (VL) localizado en los Andes Chilenos, entró en erupción en diciembre de 1988, manteniéndose activo por 13 meses. La lava, piroclastos y cenizas pueden afectar la composición mineral del pasto en el área de influencia de la erupción con consecuentes daños sobre la población animal a pastoreo. Con el objeto de establecer la concentración foliar de minerales en la zona de influencia del VL se analizaron en 5 predios del Valle de Lonquimay, y durante dos años, el contenido forrajero de Ca, P, Mg, Na, K, B, Cu, Fe, Mn, Mo, y Zn; así mismo, se evaluó la concentración sérica de Ca, P, Mg, y Cu en bovinos. No se observaron tendencias a la presentación de valores bajo o sobre el requerimiento mineral para bovinos a pastoreo; así mismo, no se encontraron valores bajos en la concentración sérica de Ca, P, y Mg; se observaron valores disminuidos en la concentración sérica de Cu. El contenido foliar de Ca, P, Mg, K, B, Fe, Mn, y Mo fue suficiente para satisfacer el requerimiento de minerales para bovinos a pastoreo; pero, el Na, y Zn fueron insuficientes, como también el Cu, provocando la baja concentración sérica de Cu.

Términos para índice: forrajes, minerales, bovinos, erupciones volcánicas.

MINERAL CONCENTRATION IN FORAGE AND BOVINE EXPOSED TO THE ERUPTION OF LONQUIMAY VOLCANO

ABSTRACT - Lonquimay volcano (LV) is located in the southern Andes of Chile; it began erupting in December/88, and was active for 13 months. The eruption products can affect the mineral concentration in forages; consequently, animal health can be affected. To analyze the contents of Ca, P, Mg, Na, K, B, Cu, Fe, Mn, Mo, and Zn in pastures from the Lonquimay valley, samples of forage were taken from 5 farms near to LV during two years after cessation of the eruption. Also the concentration of Ca, P, Mg, and Cu in serum of grazing cows was analyzed. The mineral concentration in the pastures and in the serum were described by means (x) and by standard deviation (SD); the frequency of samples with mineral contents below or above requirements for grazing cattle was plotted. No tendency to increase or decrease the serum concentration of minerals in grazing cattle was observed; moreover, no abnormal concentrations of Ca, P, and Mg were found, but Cu in serum was low. The contents of Ca, Mg, K, B, Fe, Mn, and Mo in the pastures were enough to fill the mineral requirements for grazing cattle; but Cu, Na, and Zn were not. The low concentration of Cu in the serum was due to the low contents of the mineral in the pasture.

Index terms: forages, grass, minerals, cattle, volcano eruptions.

---

[1] Aceptado para publicación en 2 de febrero de 1997.
Proyecto FONDECYT - CHILE 90 0035.

[2] Méd.Vet., M.Sc., Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Univ. Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

[3] Méd.Vet., Ph.D., Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Univ. Austral de Chile.

[4] Méd.Vet. Zoot., M.Sc., Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Univ. Austral de Chile.

[5] Tec. Méd., Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Univ. Austral de Chile.

INTRODUCCION

La relación suelo - planta - animal es uno de los factores que determina que tanto el forraje como los animales que lo pastorean, contengan en su composición orgánica una concentración determinada de minerales, la que en algunos casos, puede ser deficitaria o excesiva según la cantidad acumulada. Una de las fuentes que puede causar variaciones en el contenido de minerales en la cadena suelo - planta - animal es la emanación de ceniza producto de erupciones volcánicas (Allaway, 1986).

El Complejo Volcánico Lonquimay (CVL), localizado en la Cordillera de los Andes (38º22'30" LS y 71º35'30" LO) en la IX Región de Chile, entró en erupción en diciembre de 1988 y se mantuvo activo por 13 meses. El Valle de Lonquimay con una superficie aproximada de 4000 km^2, fue el más afectado por las

emanaciones de ceniza volcánica, las que por acción del viento fueron transportadas en direcciones este y sudeste hasta una distancia de 250 km del CVL (Moreno & Gardeweg, 1989).

Los productos de la erupción como lava y piroclastos pueden afectar la composición mineral de las praderas del área de influencia, con el consecuente daño sobre la población animal; de hecho se encontró que la concentración sérica de flúor en bovinos a pastoreo cerca del CVL, era de 1,3 ppm 10 semanas después de iniciada la erupción, disminuyendo a menos de 0,2 ppm 18 meses después; éstas son concentraciones suficientes para provocar lesiones dentales compatibles con fluorosis (Araya et al., 1990, 1993).

La cantidad de ceniza volcánica depositada en el suelo posiblemente no afecta el crecimiento de forrajes, pero si produce variación en su contenido de minerales. Es así como Mahler (1984) encontró que las concentraciones foliares de azufre (S), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y zinc (Zn) en alfalfa, aumentaban con la mayor incorporación de cenizas de origen volcánico al suelo; así mismo, los contenidos de manganeso (Mn) y potasio (K) disminuían por la misma causa.

El objeto de este estudio fue conocer la concentración y eventuales modificaciones de los minerales en praderas de la zona de influencia del CVL.

MATERIAL Y METODOS

De acuerdo a la ubicación, carga animal y a las facilidades para la realización de este estudio, se seleccionaron cinco predios ubicados en el Valle de Lonquimay (38º22'30" LS y 71º35'30" LO) y al sudeste a una distancia aproximada de 25 a 60 km del volcán, zona de influencia de la erupción del Complejo Volcánico Lonquimay (CVL).

Se hizo un análisis en cinco predios localizados en la zona de influencia de la erupción de la concentración de calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), nitrógeno (N), potasio (K), aluminio (Al), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), plomo (Pb), silicio (Si) y zinc (Zn) desde el otoño de 1990 hasta el verano de 1992; así mismo, se analizó la concentración sérica de Ca, Cu, P y Mg en vacas de 3 a 7 años de edad provenientes de los mismos predios y en el mismo período.

En cada predio se obtuvieron cada tres meses muestras del forraje de las praderas pastoreadas por los animales; el muestreo se empezó en el otoño de 1990, terminando en el verano de 1992. En uno de los predios no se tomaron muestras a partir de 1991 ya que se tomó la decisión por parte del propietario de venderlo. La composición botánica de la pradera correspondía a pradera natural, en la que se encontró principalmente una mezcla de pasto miel (*Holcus lanatus*), pasto oloroso (*Anthoxantum odoratum*), pasto cebolla (*Arrenatherum elatius*), chépica (*Agrostis* sp.) y en menor proporción trébol blanco (*Trifolium repens*) y ballica (*Lolium* sp.). La selección de los predios se hizo según el grado de exposición a la emisión volcánica, es decir se tomaron muestras de las praderas con mayor cobertura de ceniza o arena volcánica. Las muestras fueron tomadas siempre del mismo sitio seleccionado inicialmente en la pradera y cortando el pasto a 3 cm por encima del suelo. En ninguno de los predios se fertilizaron las praderas durante el tiempo que duró el estudio.

Las razas predominantes en la zona eran Normando, Hereford y el producto del cruzamiento entre ambas o con Frisón Negro, animales caracterizados por su alta rusticidad y bajos requerimientos nutricionales. En cada predio se obtuvieron muestras de sangre a grupos de 5 vacas entre 3 y 7 años de edad, en total se colectaron 264 muestras, ya que hubo épocas en las que no todos los predios fueron muestreados al no estar presentes los animales seleccionados inicialmente. De cada animal se obtuvieron 10 mL de sangre mediante venopunción coccígea, de la que se extrajo el suero y se congeló a -25 ºC hasta su posterior análisis.

El sistema de alimentación de las vacas era pastoreo más la suplementación invernal con heno obtenido directamente de la pradera. Los animales no recibieron ningún tipo de suplementación con concentrado o sal mineralizada.

La determinación del contenido de N se hizo mediante la técnica de Kjeldahl; el P y el B se determinaron mediante un método colorimétrico (Isaac & Jones Junior, 1972); los demás minerales se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica (Fick et al., 1976).

En el suero, los análisis se hicieron mediante espectrofotometría de absorción atómica (Fick et al., 1976) y la técnica de molibdato - vanadato para el fósforo.

Las concentraciones de minerales en el forraje y en el suero son descritas para cada estación o época del año evaluada mediante la utilización del promedio (x) y desviación estándar (DE) según lo describe Domènech (1980).

El criterio empleado para evaluar el estado mineral de las praderas y del suero en los animales, se basó en la comparación de los valores obtenidos a lo largo del estudio con los reportados en estudios nacionales y extranjeros (Haardt et al., 1976; National Research Council, 1984; Contreras et al., 1990; McDowell, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSION

La concentración de macro y microminerales en el forraje no mostró ninguna tendencia a aumentar o disminuir en forma manifiesta durante los dos años del estudio. En el Cuadro 1 se puede observar el promedio

y la DE de la concentración de macrominerales en el forraje de las praderas analizadas. El promedio y DE encontrado para la concentración de microminerales se presentan en el Cuadro 2.

Las concentraciones foliares de Ca, P, K, Mg, Fe, Mn, y Mo fueron adecuadas para cubrir el requerimiento mínimo de minerales para mantenimiento en la ración para bovinos en pastoreo (Fig. 1); igualmente, el B fue suficiente para satisfacer los requerimientos. En un total de muestras superior al 50% de las analizadas, se encontró un contenido de Na, Cu y Zn insuficiente para satisfacer la necesidad nutricional en bovinos a pastoreo (Fig. 2).

Las concentraciones séricas de Ca, P y Mg (Cuadro 3) estuvieron dentro del rango de referencia para la especie, mientras que la concentración de Cu se encontró en la mayoría de los períodos en el límite o bajo el valor de referencia, sin seguir la tendencia encontrada para la concentración foliar (Fig. 3).

La concentración foliar de los macrominerales Ca y K fue suficiente para satisfacer el requerimiento de estos elementos en bovinos de carne a pastoreo; igualmente, los microminerales Fe, Mn y B mostraron concentraciones adecuadas en la ración para bovinos. El Mo presentaba un contenido foliar por encima del requerimiento nutricional para el bovino. La concentración de P presentó valores bajo el requerimiento en el 15% de las muestras, estando en las demás muestras en el límite de la concentración mínima necesaria. El contenido foliar de Na, Cu y Zn fue insuficiente para satisfacer los requerimientos para bovinos a pastoreo en la mayoría de las muestras (National Research Council, 1984; McDowell, 1992; Puls, 1992).

La concentración foliar de Ca, P y Mg aumenta al incrementar el contenido de ceniza volcánica en el suelo (Mahler, 1984). En este estudio, el contenido foliar de P es similar al encontrado por Mahler (1984) mientras que los valores de Ca y Mg fueron más bajos que los reportados por este autor; sólo en un período se encontraron valores mínimos críticos para la alimentación bovina (National Research Council, 1984; Puls, 1992; Velásquez-Pereira et al., 1993). Pese a la baja oferta de estos minerales, la concentración sérica de los mismos se mantuvo en el rango de referencia (Cuadro 3) señalado por Contreras et al. (1990).

Cuadro 1. Promedio y desviación estándar de la concentración de macrominerales (% base seca) en el forraje de 5 predios de la zona de influencia de la erupción del Complejo Volcánico Lonquimay, Chile.

Macromineral	Años							
	1990			1991				1992
	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Otoño	Invierno	Primav.	Verano
P	0,20 ± 0,1	0,30 ± 0,1	0,34 ± 0,1	0,28 ± 0,1	0,30 ± 0,1	0,30 ± 0,0	0,39 ± 0,1	0,30 ± 0,1
K	1,78 ± 0,9	1,85 ± 0,7	3,04 ± 0,5	2,38 ± 0,4	2,01 ± 0,4	1,53 ± 0,4	2,00 ± 0,5	2,26 ± 0,3
Ca	0,69 ± 0,4	0,46 ± 0,1	0,69 ± 0,5	0,72 ± 0,5	0,41 ± 0,2	0,42 ± 0,1	0,41 ± 0,1	0,56 ± 0,2
Mg	0,16 ± 0,1	0,19 ± 0,0	0,19 ± 0,0	0,22 ± 0,0	0,23 ± 0,0	0,17 ± 0,0	0,14 ± 0,1	0,20 ± 0,1
Na	0,04±0,02	0,05±0,04	0,04±0,02	0,03±0,00	0,03±0,00	0,04±0,00	0,05±0,04	0,03±0,00

Haardt et al. (1976) analizaron la concentración foliar de Ca, P y Mg en los forrajes de nueve zonas ecológicamente diferentes de Chile, encontrando que el contenido de P era insuficiente para suplir la necesidad nutricional del bovino, siendo este resultado similar al encontrado en el otoño e invierno de 1990. A diferencia de los resultados encontrados en este estudio, Haardt et al. (1976) señalan que el contenido de Ca y Mg fue insuficiente para satisfacer los requerimientos.

Velásquez-Pereira et al. (1993) encontraron que la concentración de Na en el suelo aumentaba después de la deposición de sedimentos volcánicos; sin embargo, no se encontraron incrementos en el contenido foliar de Na, por el contrario se observó un 90% de las muestras con valores bajo el requerimiento nutricional para este mineral. El K mostró una concentración foliar adecuada con respecto al requerimiento para bovinos (National Research Council, 1984; Puls, 1992). Resultados similares obtuvieron Haardt et al. (1976) en el análisis de K y Na en forrajes de diferentes zonas de Chile.

Si bien, el contenido de Cu en el forraje en este estudio fue adecuado para el crecimiento de la pradera según Bergmann, 1986, la concentración encontrada es inadecuada e insuficiente para satisfacer la necesidad nutricional del bovino (National Research Council, 1984; McDowell, 1992). En Chile se han encontrado forrajes que sin haber estado expuestos a la acción de ceniza volcánica, presentan un contenido de Cu más elevado que el observado en este estudio (Haardt et al., 1976; Wittwer et al., 1988). El escaso aporte de Cu en el forraje afectó la concentración sérica en los bovinos a pastoreo (Fig. 3); pero, sin alcanzar una magnitud tal que indujera la presentación de casos clínicos de hipocuprosis.

Cuadro 2. Promedio y desviación estándar de la concentración de microminerales (ppm base seca) en el forraje de 5 predios de la zona de influencia de la erupción del Complejo Volcánico Lonquimay, Chile.

Macromi-	Años							
Neral	1990			1991				1992
	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Otoño	Invierno	Primav.	Verano
Fe	275 ± 140	1033±1803	317 ± 310	158 ± 32	682 ± 788	917 ± 397	348 ± 237	141 ± 81
Mn	71 ± 55	162 ± 131	98 ± 50	87 ± 85	131 ± 25	156 ± 66	119 ± 65	78 ± 43
B	18 ± 15	21 ± 21	10 ± 5	19 ± 13	13 ± 12	5 ± 3	12 ± 3	13 ± 3
Cu	6 ± 3	8 ± 3	8 ± 1	7 ± 2	7 ± 2	6 ± 2	12 ± 2	8 ± 2
Zn	22 ± 7	22 ± 6	25 ± 7	19 ± 4	23 ± 6	32 ± 8	34 ± 5	26 ± 8
Mo	N D	N D	1 ± 1	6 ± 7	12 ± 4	N D	N D	N D

Así mismo, el Zn presentó una concentración foliar inadecuada para satisfacer las necesidades nutricionales de bovinos (National Research Council, 1984). En Chile, se han reportado otros resultados en los que se señala que la concentración de Zn en el forraje es insuficiente (Haardt et al., 1976; Wittwer et al., 1988).

Otros minerales como el Fe, Mn, B y Mo presentaron concentraciones elevadas; pero, sin alcanzar concentraciones más altas que el máximo permisible en la ración para bovinos de carne a pastoreo (McDowell, 1992) (Fig. 2). Haardt et al. (1976) reportan concentraciones de Fe, Mn y Mo similares a las encontradas; no obstante, en otras erupciones se ha encontrado que el contenido de Mn disminuye al aumentar el contenido de cenizas volcánicas en el suelo (Mahler, 1984).

Estas variaciones en la composición mineral del pasto podrían deberse a las interacciones que existen entre los diferentes minerales, pudiendo ser sinérgicas o antagónicas (Georgievskii et al., 1981; O´Dell, 1984). El Cu y el Mo son un ejemplo de interacción mineral, ya que frente al exceso de Mo en la ración, hay serias limitaciones en la absorción de Cu (Georgievskii et al., 1981; McDowell, 1992). La baja conce ntración sérica de Cu encontrada a lo largo del estudio (Fig. 3) podría obedecer a la interacción Cu - Mo, ya que se encontró en un alto contenido de Mo en varios períodos del estudio. Igualmente, el Zn es otro mineral que puede ser antagonizado por la alta concentración de otros minerales como K, Fe y Mo (Georgievskii et al., 1981; Puls, 1992).

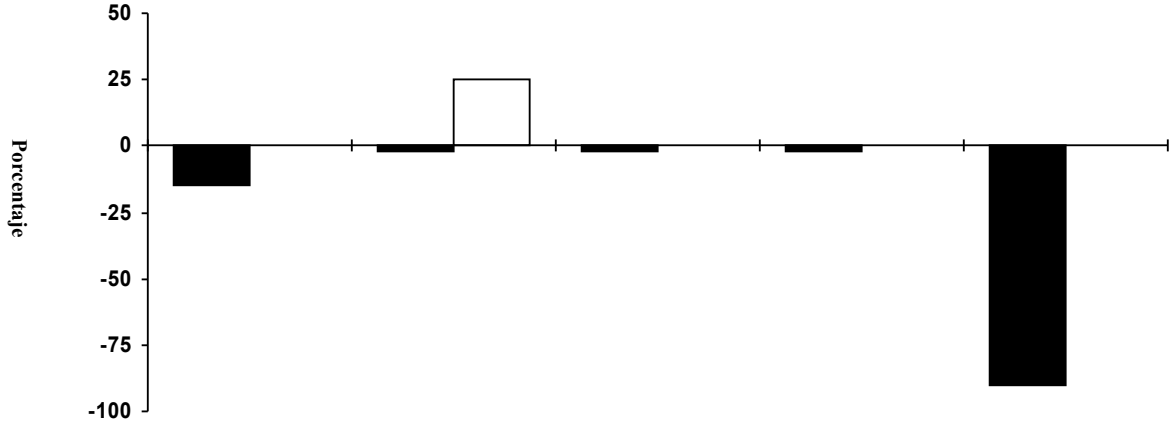

FIG. 1. Porcentaje de muestras (n = 48) de forraje en 5 predios de la zona de Lonquimay-Chile con valores bajo y sobre los requerimientos (% base seca) de macroelementos para bovinos. Valores de referencia: National Research Council (1984), McDowell (1992).

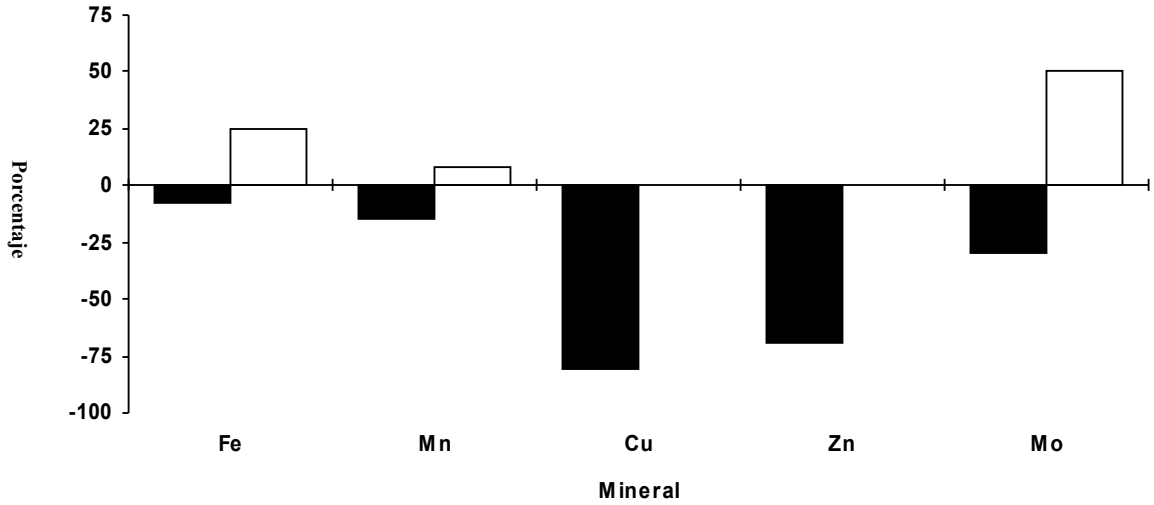

FIG. 2. Porcentaje de muestras (n = 48; Mo: n = 10) de forraje en 5 predios de la zona de Lonquimay-Chile con valores bajo y sobre los requerimientos (ppm base seca) de microelementos para bovinos. Valores de referencia: National Research Council (1984), McDowell (1992).

La presencia de algunos compuestos minerales como SiO_2, Al_2O_3, FeO y Fe_2O_3, que corresponden a la mayor parte de la composición de los piroclastos emanados durante la erupción del CVL (Moreno & Gardeweg, 1989), no necesariamente producirán un aumento del contenido de minerales en los forrajes cultivados en la zona de influencia de la erupción. El contenido de macro y micro minerales encontrado en este estudio, no presentó en ningún momento valores compatibles con concentraciones tóxicas para bovinos en pastoreo. Sin embargo, se produjeron variaciones en el contenido de flúor en el forraje, lo que indujo la presentación de casos clínicos de intoxicación con este elemento en bovinos a pastoreo (Araya et al., 1990, 1993).

A diferencia de la erupción del CVL, en otros fenómenos volcánicos la composición mineral del suelo se ha visto afectada por la emanación de ceniza volcánica; pero, sin producir variaciones en la composición mineral del forraje (Velásquez-Pereira et al., 1993).

Por lo anterior, y en consideración a los resultados obtenidos, es posible que la erupción del CVL no haya tenido mayor efecto en la concentración de minerales de los pastos que crecen en el Valle de Lonquimay, ya que las características geoquímicas del material volcánico emitido presentaron un bajo contenido de óxidos diferentes al SiO_2 y al Al_2O_3, lo que también puede estar asociado con la escasa captación de minerales por el pasto que creció expuesto a la acción de la ceniza volcánica. Además, el contenido de minerales en los forrajes analizados es similar al que presentan otros pastos en Chile. Cabe señalar que este estudio comprende

solamente el período posteruptivo; el período previo y durante la erupción propiamente tal, probablemente pudieron presentar valores diferentes.

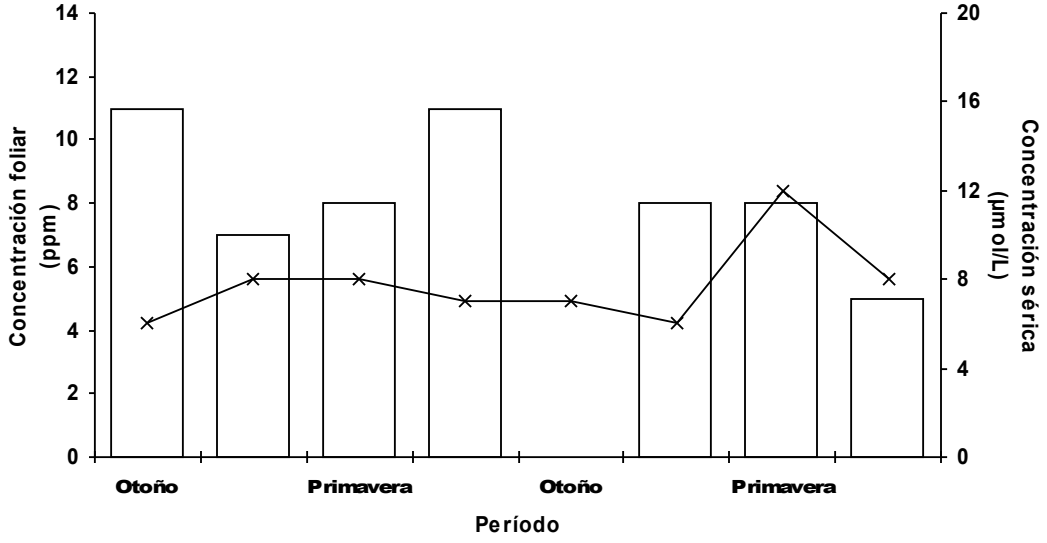

FIG. 3. Concentración sérica y foliar de cobre en bovinos y forrajes en 5 predios de la zona de Lonquimay-Chile. Concentración máxima requerida en la ración (- -). Concentración sérica mínima (• •).

Cuadro 3. Promedio y desviación estándar de la concentración sérica de Ca, P, Mg (mmol/L) y Cu (µmol/L) en bovinos de 5 predios de la zona de influencia de la erupción del Complejo Volcánico Lonquimay, Chile.

Mineral	Años								Valor de Ref.[1]
	1990			1991				1992	
	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	Otoño	Invierno	Primav.	Verano	
Ca	2,54 ± 0,1	2,53 ± 0,1	2,39 ± 0,1	2,49 ± 0,1	2,17 ± 0,0	2,39 ± 0,2	2,30 ± 0,1	2,40 ± 0,1	2,00 - 2,60
P	1,80 ± 0,1	1,90 ± 0,3	1,86 ± 0,3	1,45 ± 0,3	1,60 ± 0,2	1,32 ± 0,1	1,68 ± 0,3	1,82 ± 0,1	1,10 - 2,30
Mg	0,97 ± 0,0	1,03 ± 0,1	1,00 ± 0,1	1,14 ± 0,1	1,16 ± 0,0	0,89 ± 0,1	0,87 ± 0,0	0,93 ± 0,0	0,65 - 1,14
Cu	11 ± 2	7 ± 1	8 ± 1	11 ± 1	N D	8 ± 1	8 ± 1	5 ± 1	8 - 22[2]

[1] Fuente: Contreras et al. (1990).
[2] Fuente: Wittwer et al. (1988).

CONCLUSIONES

1. En el período posteruptivo del CVL, el contenido de Ca, P, Mg, K, B, Fe, Mn, y Mo en el forraje del área afectada es suficiente para satisfacer el requerimiento en bovinos de carne en pastoreo, mientras que el contenido de Cu, Na y Zn es insuficiente para dicho objeto.

2. En el período posteruptivo del CVL no se presentan concentraciones minerales que ofrezcan peligro de toxicidad para bovinos.

3. Durante el período posteruptivo no hay modificaciones en la concentración de minerales en los forrajes; si bien, la falta de antecedentes previos a la erupción, no permiten que se pueda afirmar con certeza que las concentraciones encontradas en el forraje hayan sido producto del efecto de las emanaciones de ceniza originadas en la erupción del Complejo Volcánico Lonquimay.

4. La concentración sérica de Ca, P y Mg en bovinos a pastoreo se encuentra dentro del rango de referencia, a diferencia del Cu cuyo valor está disminuído, asociado al escaso contenido de este mineral en el forraje.

REFERENCIA

ALLAWAY, W.H. Soil - plant - animal and human interrelationships in trace element nutrition. **In:** MERTZ, W. **Trace elements in human and animal nutrition**. 5.ed. Orlando: Academic Press Inc., 1986. p.465-485.

ARAYA, O.; WITTWER, F.; VILLA, A.; DUCOM, C. Bovine fluorosis following volcanic activity in the Southern Andes. **The Veterinary Record**, v.126, p.641-642, Jun. 1990.

ARAYA, O.; WITTWER, F.; VILLA, A. Evolution of fluoride concentrations in cattle and grass following a volcanic eruption. **Veterinary and Human Toxicology**, v.35, n.5, p.437-440, Oct. 1993.

BERGMANN, W. **Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen**. Stuttgart: VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1986. 306p.

CONTRERAS, P.; WITTWER, F.; BÖHMWALD, H. Concentraciones de calcio, fósforo y magnesio en suero sanguíneo de bovinos de leche de 40 predios lecheros de la X Región. Chile. **Archivos de Medicina Veterinaria**, v.22, n.2, p.185-196, jul./dic. 1990.

DOMÈNECH, J.M. **Bioestadística**: métodos estadísticos para investigadores. Barcelona: Herder, 1980. 642p.

FICK, K.R.; MILLER, S.; FUNK, J. **Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y de animales**. Gainesville: Instituto de Ciencias Agrícolas y de la Alimentación, Universidad de Florida, 1976. 801p.

GEORGIEVSKII, V.I.; ANNENKOV, B.N.; SAMOKHIN, V.I. **Mineral nutrition of animals**. London: Butterworths, 1981. 480p.

HAARDT, E.; POTOENJAK, J.; LOPEZ, A.; CORNEJO, S. Survey model applied to mineral study in forages for a country (Chile) with a great versatility of ecological systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FEED COMPOSITION, ANIMAL NUTRIENT REQUIREMENTS, AND COMPUTERIZATION OF DIETS. 1., **Proceedings**... Logan, UT, 1976. p.357-362.

ISAAC, R.A; JONES JUNIOR, J.B. Effects of various dry ashing temperatures on the determination of 13 nutrient elements in five plant tissues. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.3, p.261-269, 1972.

MAHLER, R.L. The influence of Mount St. Helens volcanic ash on alfalfa growth and nutrient uptake. **Soil Science and Plant Analysis**, v.15, n.4, p.449-460, 1984.

McDOWELL, L.R. **Minerals in animal and human nutrition**. San Diego: Academic Press Inc., 1992. 524p.

MORENO, H.; GARDEWEG, M.C. La erupción reciente en el Complejo Volcánico Lonquimay (Diciembre 1988), Andes del Sur. **Revista Geológica de Chile**, v.16, n.1, p.93-117, 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (EUA). **Nutrient requirements of domestic animals**, **nutrient requirements of beef cattle**. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1984. 242p.

O´DELL, B.L. Bioavailability of trace elements. **Nutrition Reviews**, v.42, n.9, p.301-308, Sept. 1984.

PULS, R. **Mineral levels in animal health:** Diagnostic data. Clearbrook, CAN: Sherpa International, 1992. 240p.

VELASQUEZ-PEREIRA, J.; McDOWELL, L.R.; WILKINSON, N.S.; CONRAD, J.H.; MARTIN, F.G.; GARCES, P. Evaluation of macromineral status and changes in soil and forages due to deposition of volcanic sediments in the Northwest region of Nicaragua. **Journal of Animal Science**, v.71, p.195, 1993. Suppl. 1.

WITTWER, F.; CONTRERAS, P.; BÖHMWALD, H.; ANRIQUE, R.; FUCHSLOCHER, R. Concentraciones de zinc y cobre en forrajes y suero sanguíneo de 40 predios lecheros de la X Región-Chile. **Archivos de Medicina Veterinaria**, v.20, n.1, p.118-125, ene./jun. 1988.