

## ESTADO MINERAL Y SUPLEMENTO CON ALAMBRE DE ÓXIDO DE COBRE EN CABRAS DE SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA

### Mineral status and supplementation with copper oxide wire in goats of San Jose Teacalco, Tlaxcala

Juan Carlos Muñoz-González, Maximino Huerta-Bravo, Rodolfo Ramírez-Valverde, \*Mariano J. González-Alcorta

Posgrado en Producción Animal Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo 56230 Estado de México, México

\*marianojga@hotmail.com

**Nota científica** recibido: 17 de marzo de 2014, **aceptado:** 8 de septiembre de 2014

**RESUMEN.** Se evaluaron los efectos del complemento vía oral con 5 g de alambre de óxido de cobre (AOCu), y del día de muestreo, en la concentración de minerales en suero sanguíneo y leche de cabras. Se usó un diseño completamente al azar. El complemento con AOCu incrementó las concentraciones séricas de Cu ( $p = 0.04$ ), Mg ( $p = 0.01$ ), K ( $p = 0.005$ ), y P ( $p = 0.01$ ) en 11.7, 6.5, 11.7 y 17.6 %, respectivamente, y disminuyó ( $p = 0.08$ ) el Fe sérico en 18.6 %, en relación con las cabras no complementadas. El Cu sérico fue mayor ( $p = 0.0001$ ) en el día 60 en 11.1 %, y menor ( $p < 0.05$ ) el Zn, Ca, Na, K y P sérico en 22.0, 5.5, 4.4, 10.5 y 31.1 %, respectivamente, en relación con el día 30. El Ca en leche aumentó ( $p = 0.0001$ ) en 24.6 % al día 60, y disminuyó ( $p < 0.05$ ) el Na y P en 21.0 y 10.4 %, respectivamente, en relación con el día 30.

**Palabras clave:** Pequeños rumiantes, minerales, nutrición, complementación con cobre.

**ABSTRACT.** The oral supplementation effect with 5 g of copper oxide wire (COW), and the day of sampling effect, on the mineral concentrations of goat blood serum and milk were evaluated. A complete randomized model was applied. The supplement with COW increased serum Cu ( $p = 0.04$ ), Mg ( $p = 0.01$ ), K ( $p = 0.005$ ), and P ( $p = 0.01$ ) in 11.7, 6.5, 11.7 and 17.6 %, respectively, and decreased ( $p = 0.08$ ) serum Fe in 18.6 % in relation to the nonsupplemented goats. Serum Cu was greater ( $p = 0.0001$ ) on sampling day 60 by 11.1 %. However, there was a decrease in Zn ( $p = 0.0001$ ), Ca ( $p = 0.015$ ), Na ( $p = 0.0001$ ), K ( $p = 0.0036$ ) and P ( $p = 0.0001$ ) concentrations by 22, 5.5, 4.4, 10.5 and 31.1 %, respectively, in relation to day 30. The Ca in milk increased ( $p = 0.0001$ ) 24.6 % on day 60, while Na ( $p = 0.01$ ) and P ( $p = 0.03$ ) in 21 and 10.4 %, respectively, in relation to sampling on day 30.

**Key words:** Small ruminants, minerals, nutrition, copper supplementation.

## INTRODUCCIÓN

El cobre es uno de los minerales que desempeña múltiples funciones en el organismo animal. Según Siciliano-Jones *et al.* (2008), el interés en el mejoramiento de las estrategias de complementación de minerales traza, como el Cu, ha aumentado en áreas específicas de investigación que incluyen la determinación de sus efectos en la retención mineral, en la salud y en el comportamiento de los rumiantes. Además, los minerales como el Cu

y Zn actúan en el sistema inmune de varias formas, incluyendo el mantenimiento de la integridad estructural de las barreras epiteliales contra las infecciones (Richards *et al.* 2010), y como componentes de una variedad de enzimas antioxidantes (Waldron 2010). Asimismo, se ha demostrado que la complementación con Cu puede cambiar la composición de algunos tejidos animales, principalmente en el metabolismo de los ácidos grasos y colesterol con la finalidad de obtener alimentos funcionales o nutracéuticos. Por ejemplo, Huang *et al.* (2013) men-

cionan que la complementación con Cu dietético, modifica el metabolismo de los ácidos grasos y deposición de grasa en la canal de cabras Cummings *et al.* (2008), también mencionan que la complementación con Cu dietético tiene un efecto en la síntesis de *novo* de los ácidos grasos y la deposición de lípidos de diferentes tejidos de las cabras. Sin embargo, los estudios de los componentes de la leche de las cabras (urea, proteína, lactosa, sólidos totales, ácido cítrico, macro y microminerales), (Silanikove *et al.* 2010), son escasos debido a que las posibilidades de cambiar las concentraciones de algunos micronutrientes en la leche son muy limitadas. Una de las técnicas que ha mostrado ser una de las formas de complemento cúprico más efectiva, es la complementación con alambre de óxido de cobre (Deland *et al.* 1986). No obstante, la respuesta al complemento en los sistemas de producción animal en México ha sido poco estudiada.

Por lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron: a) determinar la concentración mineral en los componentes agua, suelo, forraje, ensilado de maíz, dieta y en el suero sanguíneo en una unidad de producción caprina de San José Teacalco, Tlaxcala; y b) estimar el efecto del complemento con alambre de óxido de cobre en la concentración mineral en suero sanguíneo y en la composición química de la leche de las cabras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar del experimento

El trabajo se realizó del 29 de marzo al 7 de junio del 2005, en una unidad de producción de leche de cabra situada en la ciudad de San José Teacalco, Tlaxcala, México, ubicada a 19° 20' LN y 98° 04' LO oeste a 2 600 msnm con clima templado subhúmedo con temperatura media anual de 23 °C (García 1988).

### Unidad de producción y animales

La UP contaba con una superficie de 6 ha utilizadas para la siembra de maíz (*Zea mays* L.) con un sistema de producción semi-intensivo y con 58 animales jóvenes y 55 cabras adultas de raza Alpina. Se utilizaron 37 cabras de segundo y tercer

parto, de cuatro años de edad promedio; 13 cabras fueron complementadas con 5 g de alambre de óxido de cobre (AOCu) con 100 % de CuO, y 24 cabras no se complementaron.

### Manejo alimenticio de los animales

Consistió en una dieta a base de paja de avena, alfalfa achicalada y maíz, molidos y mezclados que se proporcionaban en la mañana durante la ordeña y en la tarde. Durante el día las cabras se enviaban al pastoreo donde el forraje disponible era rastrojo de maíz sin recibir otro complemento mineral adicional al del tratamiento.

### Muestras de agua

Se tomaron tres muestras directamente de cada fuente disponible para las cabras mediante la metodología recomendada por Ramos *et al.* (2003) en envases limpios de plástico identificados y se pusieron en congelación hasta su análisis.

### Muestras de suelo

Se colectaron cinco muestras compuestas en la parcela siguiendo la metodología descrita por Aguilar (1987), las muestras se almacenaron en bolsas de plástico, luego fueron secadas, molidas y cernidas; se guardaron en bolsas de plástico hasta su análisis.

### Muestras de forraje

Se colectaron cinco muestras en la parcela en bolsas de papel empleando la técnica de Hand Plucking (Le Du y Penning 1982), también se colectaron dos muestras de paja de avena, dos muestras de alfalfa achicalada y dos de la dieta ofrecida, la paja de avena y la alfalfa achicalada provenían de productores vecinos de la UP; las muestras, luego fueron pesadas, secadas, molidas y almacenadas en frascos limpios de vidrio hasta su análisis.

### Muestras de sangre y de leche

Las muestras de sangre se colectaron mediante punción de la vena yugular con agujas y tubos de vidrio al vacío sin anticoagulante Vacutainer®. Se centrifugaron a 2 500 rpm para separar el suero, estas muestras se colectaron los

días 1, 30 y 60 después del inicio del experimento, en frascos limpios de plástico. El suero y la leche se mantuvieron en congelación a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

### Análisis de laboratorio

En el agua se determinaron los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P. En suelo, rastrojo de maíz, paja de avena, ensilado de maíz y en la dieta proporcionada a las cabras se determinaron los minerales Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P. En el suero sanguíneo y la leche se determinaron los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P. En las muestras de leche también se determinaron las concentraciones de urea, caseína, proteína, lactosa, sólidos totales (ST), sólidos no grasos (SNG), ácido cítrico, densidad, ácidos grasos libres (AGL) y acidez con un MilkoScan TS-120. Los minerales Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na y K fueron analizados en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer (Fick *et al.* 1979) y el P por colorimetría (Fick *et al.* 1979, Clesceri *et al.* 1992) en un espectrómetro UV/VIS modelo Lambda 2 marca Perkin Elmer.

### Análisis estadístico

El modelo estadístico consideró los efectos del tratamiento ( $T_i$ ) [Sin y Con complemento], el día de muestreo ( $D_j$ ) [Día 30 o 60], la interacción ( $T \cdot D_{ij}$ ) y una covariable de la concentración inicial de Cu en el suero ( $\beta\text{CuS}$ ). Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM del paquete SAS (SAS 2009). La instrucción LSMEANS se usó para obtener las medias por cuadrados mínimos de los efectos principales y de las interacciones. Se consideraron las variables de contenido mineral en suero sanguíneo y la composición química de la leche, utilizando un modelo completamente al azar con diseño factorial de tratamientos  $2 \times 2$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Minerales en agua

Las concentraciones de Cu, Fe y Zn en el agua no fueron detectables por el espectrofotómetro de absorción atómica, y las de Ca ( $28\text{ mg L}^{-1}$ ), Mg

( $18.8\text{ mg L}^{-1}$ ) y Na ( $525\text{ mg L}^{-1}$ ) no superaron los niveles máximos tolerables por el ganado. El Ca en el agua fue 51 % menor y el Na fue 900 % mayor que la concentración típica de estos minerales en el agua. Además, el P ( $29.9\text{ mg L}^{-1}$ ) fue 420 % mayor que los niveles máximos tolerables para el ganado caprino (Puls 1994) como se observa en la Tabla 1. Los niveles no detectables de Cu, Fe, y Zn en agua indican un bajo aporte de estos minerales a través de esta fuente. Sin embargo, los minerales en el agua pueden contribuir significativamente a los requerimientos de los rumiantes. Por ejemplo, Castillo *et al.* (2013) en 39 explotaciones de bovinos lecheros en E.E. U.U. presentan concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca Mg, Na, K y P en el orden de 0.2, 0.2, 0.1, 65.8, 22.2, 60.0, 3.0 y  $0.1\text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente; mientras Socha *et al.* (2009) presentan resultados de 3651 muestras de agua colectadas a través de los E.E. U.U., concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K en el orden de 0.07, 0.79, 0.12, 65, 24, 46 y  $4.0\text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. En este estudio, los altos niveles de P, en el agua pueden ser por la eutrofización de las aguas superficiales debido a la escorrentía de tierras agrícolas ricas en P (Arriaga *et al.* 2009).

### Minerales en suelo

Respecto al requisito mínimo para el crecimiento de las plantas (Bowen 1966; Whitehead 2000), en el suelo las concentraciones de Cu ( $0.55\text{ mg kg}^{-1}$ ) fueron alrededor de cuatro veces menores, las de Ca ( $83\text{ mg kg}^{-1}$ ) fueron 1.7 veces menores, y las de Fe ( $74\text{ mg kg}^{-1}$ ), Zn ( $17\text{ mg kg}^{-1}$ ) y Mn ( $285\text{ mg kg}^{-1}$ ) fueron 16, 7 y 14 veces mayores, respectivamente (Tabla 2). Las bajas concentraciones de Cu pueden deberse a las características propias del suelo que es deficiente en este mineral. Además, las concentraciones de Fe encontradas pueden predisponer a una hipocuprosis de las cabras por el antagonismo entre estos minerales. Las bajas concentraciones de Ca y el contenido de K encontrado en el suelo pueden limitar las concentraciones de Ca y Mg en las plantas (Tisdale *et al.* 1993).

**Tabla 1.** Concentración mineral en agua ( $\text{mg L}^{-1}$ ) para cabras en un rancho en San José Teacalco, Tlaxcala, México.

**Table 1.** Mineral concentration in water ( $\text{mg L}^{-1}$ ) for goats in a ranch at San José Teacalco, Tlaxcala, Mexico.

Concepto	Minerales							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Composición del agua	ND	ND	ND	28	18.8	524	6.9	29.90
Concentración típica <sup>1</sup>	-	-	-	57	14.3	55	4.3	0.08
Nivel máximo tolerable <sup>2</sup>	1.0	0.3	25	1000	1000	800	20.0	0.70

<sup>1</sup>Concentración típica de minerales en el agua (Shirley y Montesinos 1978).

<sup>2</sup>Niveles máximos tolerables en el agua para el ganado.

ND= No detectable

**Tabla 2.** Concentración mineral en suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de un rancho de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

**Table 2.** Mineral concentration in soil ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) from one ranch of San Jose Teacalco, Tlaxcala, México.

Concepto	Minerales								
	Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P
Composición del suelo	0.55	74	17	285	83	286	32	120	117
Mínimo <sup>1</sup>	3.00	46.5	26.0	19	140	30	23	60	25

<sup>1</sup>Concentraciones sugeridas como mínimas necesarias para el crecimiento de las plantas.

## Minerales en los alimentos

Respecto al requisito de las cabras (Kessler, 1991; NRC 2007), en todos los alimentos analizados hubo deficiencia de Cu, Zn y Mg, mientras la paja de avena, ensilado de maíz y la dieta ofrecida fueron deficientes en Na y P (Tabla 3). Las deficiencias de Cu y Zn encontradas en los alimentos pueden explicarse por las bajas concentraciones de estos minerales en el suelo. Los niveles altos de Fe encontrados en la paja de avena en este estudio, así como los niveles altos de Fe en rastrojo y ensilado de maíz pueden disminuir la absorción del Cu de los alimentos. Según Weiss *et al.* (2010), en bovinos el complemento con más de  $250 \text{ mg kg}^{-1}$  de Fe proveniente de sulfato de Fe incrementa el estrés oxidativo y disminuye el status del Cu, la salud, la producción, el consumo y la digestión de la fibra. Las deficiencias de Zn en todos los alimentos pueden tener un impacto en la capacidad de respuesta inmune, ya que las células deficientes en Zn disminuyen su habilidad para proliferar, dicha habilidad es muy importante para una respuesta inmune eficiente (Forsberg 2010). La relación Ca :

P fue menor a la recomendada por el NRC (2007) en la mayoría de los alimentos. Un desbalance en la relación Ca : P resulta en una alta excreción de fosfato lo que puede provocar una urolitiasis obstructiva en rumiantes (Unmack 2011).

## Estado mineral inicial en suero sanguíneo

Las concentraciones de Cu, Zn, Ca y Mg en suero sanguíneo estuvieron en el rango normal (Kaneko *et al.* 2008, Ahmed *et al.* 2001, NRC 2007); en contraste las de Fe, K y P fueron altas; y las de Na fueron bajas (Tabla 4). A pesar de los niveles adecuados de Cu inicial en suero, se encontraron algunos signos visuales de deficiencia de Cu como son despigmentación del pelo y caída de pelo alrededor del ojo. Los signos de deficiencia de Cu probablemente se debieron al estrés causado por el parto, donde el Cu puede ser movilizado del hígado aumentando los niveles de Cu en suero a niveles adecuados al momento del muestreo inicial, que fue 15 d después del parto.

**Tabla 3.** Concentración mineral en los alimentos para cabras en un rancho de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

**Table 3.** Mineral concentration in food for goats in one ranch of San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Alimento	Minerales									
	Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P	Rel. Ca:P
	ppm				%					
Rastrojo de maíz	4.2	173	14	41	0.32	0.17	0.32	2.1	0.09	3.6
Paja de avena	2.7	589	13	516	0.13	0.05	0.03	1.3	0.18	0.7
Ensilado de maíz	4.9	445	14	724	0.20	0.07	0.05	1.2	0.17	1.2
Concentrado	2.7	16	12	269	0.72	0.11	0.08	1.2	0.29	2.5
Requisitos <sup>1</sup>	15-25	35-95	50-80	60-120	0.18-0.33	0.20	0.18	0.6-0.8	0.27	Ideal 2.0:1.0
Máx. tolerable <sup>2</sup>	40	500	300	2 000	1.5	0.60	1.60	2.0	0.60	Excesivo 4.0:1.0

<sup>1</sup>Concentraciones sugeridas como mínimas necesarias para el crecimiento de las plantas.

**Tabla 4.** Estado mineral inicial (mg L<sup>-1</sup>) en suero de cabras de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

**Table 4.** Initial mineral state (mg L<sup>-1</sup>) in serum of goats of San José Teacalco, Tlaxcala, Mexico.

Día	Minerales								
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P	
1	1.2	7.70	1.00	98	25	3030	311	84	
Normal*	0.8-1.5	1.00-2.5	1.1-2.5	80-110	18-35	3 200-3 500	150-200	40-60	

Niveles normales en suero sanguíneo.

**Tabla 5.** Medias de mínimos cuadrados en las concentraciones séricas de minerales (mg L<sup>-1</sup>) de las cabras suplementadas y no suplementadas y del día de muestreo en las cabras de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

**Table 5.** Least squares means for minerals concentrations in serum (mg L<sup>-1</sup>) of supplemented and non-supplemented goats and sampling day in goats of San Jose Teacalco, Tlaxcala, Mexico.

Mineral	Grupos			Día de muestreo			
	NSup*	Sup**	Probabilidad	30	60	Probabilidad	Normal***
Cu	0.6	0.7	0.040	0.5	0.6	0.0001	0.80 - 1.20
Fe	3.4	2.8	0.080	2.9	3.4	0.4700	1.00 - 2.50
Zn	0.7	0.7	0.670	0.9	0.7	0.0001	1.1 - 2.50
Ca	102.0	107.0	0.090	108.0	102.0	0.0150	80 - 110
Mg	24.4	25.9	0.010	25.7	24.4	0.0800	18 - 35
Na	3 277.0	3 311.0	0.440	3 427.0	3 277.0	0.0001	3 200 - 3 500
K	324.0	363.0	0.005	363.0	324.0	0.0036	150 - 200
P	53.4	62.8	0.010	77.5	53.4	0.0001	40 - 60

\*Cabras no suplementadas; \*\*Cabras suplementadas \*\*\*Niveles normales en suero sanguíneo.

### Efecto del complemento con AOCu en la concentración mineral en suero sanguíneo

La administración oral de alambre de óxido de cobre incrementó ( $p = 0.04$ ) las concentraciones de Cu en suero en 11.7 %, también aumentó el Mg ( $p = 0.01$ ), K ( $p = 0.005$ ) y P ( $p = 0.01$ ) en 6.5, 11.7 y 17.6 %, respectivamente, y disminuyó ( $p = 0.08$ )

las concentraciones de Fe en 18.6 % en relación con las cabras no complementadas (Tabla 5). En las concentraciones de los minerales estudiados en el suero de cabras no hubo efecto ( $p > 0.05$ ) de la interacción tratamiento cúprico x día. Aunque las concentraciones de Cu sérico de las cabras complementadas se incrementaron, respecto a las cabras

no complementadas, las concentraciones de este mineral fueron menores a las concentraciones normales de Cu en suero de cabras en ambos grupos de animales. Por otra parte, el Fe y K sérico estuvieron por arriba de los niveles normales debido a que la deficiencia de Cu origina estrés por oxidación en los eritrocitos, atribuido a una baja actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD), ocasionando hemólisis y liberando el Fe y K al torrente sanguíneo (Waldron 2010). El estrés por oxidación pudo disminuirse en los animales complementados disminuyendo el Fe sérico. Una posible hipótesis acerca del aumento de P sérico en los animales complementados puede ser el efecto antiparasitario del AOCu (Chartier *et al.* 2000) que así como afecta a los nematodos, probablemente podría disminuir a los protozoarios del rumen, con lo que incrementarían el flujo de proteína bacteriana a nivel abomasal mejorando los niveles de P en el torrente sanguíneo.

### Efecto del día de muestreo en la concentración mineral en suero sanguíneo

Las concentraciones de Cu fueron mayores ( $p = 0.0001$ ) en 20 %, y menores las de Zn ( $p = 0.0001$ ), Ca ( $p = 0.015$ ), Na ( $p = 0.0001$ ), K ( $p = 0.0036$ ) y P ( $p = 0.0001$ ) en 22, 5.5, 4.4, 10.5 y 31.1 %, respectivamente, en el muestreo del día 60 en relación al muestreo del día 30 (Tabla 5). El incremento de Cu sérico en el muestreo del día 60, en relación con el día 30, posiblemente se debió a una disminución en las demandas de Cu en la leche conforme avanza la lactancia, y a la continua liberación de Cu por el complemento de AOCu, mejorando de esta forma el nivel del Cu sérico en las cabras, esto pudo ayudar a que se disminuyera el estrés por oxidación causado por la deficiencia de Cu, y se disminuyeran las concentraciones de Zn, Ca, Na, K y P en suero en el muestreo del día 60, en relación con el día 30, por una menor destrucción de eritrocitos por hemólisis (Spears y Weiss 2008). La disminución del Ca sérico a través del tiempo también pudo deberse a la relación existente entre el avance de la lactancia y la menor movilización de Ca del hueso (Ahmed *et al.* 2001). Las concentraciones de Na y K en suero sanguíneo disminuyeron en el muestreo del día 60 en relación con el día

30, esto pudo ocurrir para mantener una constante relación Na : K en el fluido extracelular (Church y Pond, 1988).

### Efecto del complemento con AOCu en la composición química de la leche

La administración de alambre de óxido de cobre no afectó ( $p > 0.05$ ) la composición química de la leche de las cabras complementadas, por lo que se discutirá solamente el efecto del día de muestreo.

**Tabla 6.** Medias de mínimos cuadrados para el día de muestreo en la composición química de la leche de las cabras de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

**Table 6.** Least squares means for sampling day in the milk chemistry composition of goats de San José Teacalco, Tlaxcala, Mexico.

Componente	Día de muestreo		Probabilidad
	30	60	
Urea, %	0.06	0.06	0.7700
Caseína, %	2.46	2.49	0.8100
Proteína, %	3.16	3.11	0.7100
Lactosa, %	4.18	4.24	0.4500
Sólidos totales, %	12.36	12.92	0.4000
SNG, %	8.12	8.15	0.8700
Ácido cítrico, %	0.12	0.13	0.3900
Densidad, kg L <sup>-1</sup>	1.03	1.03	0.7100
AGL, %	1.33	1.94	0.1200
Acidez, pH	5.99	6.14	0.6600
Cu, mg L <sup>-1</sup>	0.15	0.12	0.0800
Fe, mg L <sup>-1</sup>	1.37	1.78	0.1200
Zn, mg L <sup>-1</sup>	3.12	3.26	0.6200
Ca, g L <sup>-1</sup>	1.26	1.57	0.0001
Mg, g L <sup>-1</sup>	0.12	0.11	0.0700
Na, g L <sup>-1</sup>	0.43	0.34	0.0100
K, g L <sup>-1</sup>	1.86	1.76	0.0900
P, g L <sup>-1</sup>	0.96	0.86	0.0300

### Efecto del día de muestreo en la composición química de la leche

El día de muestreo afectó la concentración de Ca que aumentó ( $p = 0.0001$ ) en 24.6 % al día 60, y disminuyó la concentración de Na ( $p = 0.01$ ) y P ( $p = 0.03$ ) en 21 y 10.4 %, respectivamente, en relación con el día 30 (Tabla 6). La menor concentración de Ca en el muestreo del día 30, en relación con el día 60, probablemente se debió a una mayor dilución del Ca por un mayor volumen de producción en las primeras semanas de lactancia (Mba, 1982). Las mayores concentraciones de Na

y P en la leche al día 30 posiblemente se debieron a una mayor segregación de estos minerales hacia la leche, por la mayor movilización en suero sanguíneo, mientras que al día 60 las concentraciones de Na y P, tanto en leche como en suero sanguíneo disminuyeron.

En conclusión, las concentraciones de Cu y Zn en agua, Cu en el suelo y las concentraciones de Cu, Zn y Na en los alimentos fueron deficientes

en relación con los requisitos de los animales, por lo que se recomienda la complementación con estos minerales. La complementación con alambre de óxido de cobre mejora el nivel del cobre sérico, y aumenta las concentraciones de Mg, K y P. Asimismo, disminuye el Fe sérico en las cabras complementadas en relación con las cabras no complementadas.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar SA (1987) Muestreo de suelos y manejo de las muestras. In: El Análisis Químico de Suelos. Tah I., J. F. (comp.). Chapingo. Estado de México. 1984. Universidad Autónoma Chapingo. pp: 49-57.
- Ahmed MMM, Hamed TF M, Barri MES (2001) Variation of zinc and copper concentration in the plasma of Nubian goats according to physiological state. *Small Ruminant Research* 39: 189-193.
- Arriaga H, Pinto M, Calsamiglia S, Merino P (2009) Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms: an environmental perspective. *Journal of Dairy Science* 92: 204-215.
- Bowen HJM (1966) Trace Elements in Biochemistry. Academic Press. New York. USA. pp: 118-184.
- Castillo AR, St-Pierre NR, Silva RN, Weiss WP (2013) Mineral concentrations in diets, water, and milk and their value in estimating on-farm excretion of manure minerals in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96: 2012-6121.
- Chartier CE, Hoste H, Pors I, Koch C, Dellac B (2000) Efficacy of copper oxide needles for the control of nematode parasites in dairy goats. *Veterinary Research Communications* 24: 389-399.
- Church DC, Pond WG (1988) Basic Animal Nutrition and Feeding. Third Edition. Ed. Willey. New York. USA. 432 p.
- Clesceri SL, Greenberg EA, Trusseli RR (1992) Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Díaz De Santos. España. pp: 4-195.
- Cummins KA, Solaiman SG, Bergen WG (2008) The effect of dietary copper supplementation on fatty acid profile and oxidative stability of adipose depots in Boer × Spanish goats. *Journal of Animal Science* 86: 390-396.
- Deland, MPB, Lewis D, Cunninham PR, Dewey DW (1986) Use of orally administered oxidised copper wire particles for copper therapy in cattle. *Australian Veterinary Journal* 63: 1-3.
- Fick KA, McDowell LR, Miles PH, Wilkinson NS, Funk JD, Conrad JH, Valdivia R (1979) Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 135 p.
- Forsberg NE (2010) Nutritional regulation of innate and mucosal immunity. Proceedings of the 2010 Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop. Grantville, Pennsylvania, USA. pp: 25-32.
- García E (1988) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Autónoma de México. México. D. F. 246 p.
- Huang YL, Wang Y, Spears JW, Lin X, Gúo CH (2013) Effect of copper on performance, carcass characteristics, and muscle fatty acid composition of meat goat kids *Journal of Animal Science*. 91: 5004-5010.

- Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML (2008). *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 6th Ed. Academic Press. San Diego, California, USA. 914 p.
- Kessler, J (1991) Mineral nutrition of goats. *Goat Nutrition* 46: 104-119.
- Le Du YLP, Penning PD (1982) Animal based techniques for estimating herbage intake. In: Leaver J. (ed.), *Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society. 37 p.
- Mba AU (1982) Mineral nutrition of goats in Nigerian. In: *Proceedings of the Third International Conference on Goat production and Disease*. Scottsdale, Arizona, USA; Dairy Goat Journal Publishing Company. pp: 109-112.
- NRC (2007) *Nutrient Requirements of Small Ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids*. National Research Council. The National Academies Press. Washington, USA. 345 p.
- Puls R (1994) *Minerals Levels in Animal Health*. Diagnostic Data. Sherpa International. Clarbrook, Canada. pp: 83-109.
- Ramos O, R, R M Sepúlveda, y F M Villalobos (2003) *El Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis*. Edit. Plaza y Valdés, y Universidad Autónoma de Baja California. 210 p.
- Richards JD, Zhao J, Harrell RJ, Atwell C, Dibner JJ (2010) Trace Mineral Nutrition in Poultry and Swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 23: 1527-1534.
- SAS (2009) *SAS/STAT User's Guide*. SAS Publishing, Cary, NC.
- SAS (2009) *SAS/STAT 9.3. User's Guide*. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180 p.
- Shirley RL, Montesinos JL (1978) El agua como fuentes de minerales. In: McDowell RL, Conrad JH, (eds.). *Simposio latinoamericano sobre investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo*. Universidad de Florida, Gainesville, Florida. pp 47-54.
- Silanikove N, Leitner G, Merin U, Prosser CG (2010) Recent advances in exploiting goats milk: Quality, safety and production aspects *Small Ruminant Research* 89: 110-124
- Socha MT, Tomlinson DJ, DeFrain JM (2009) Variability of water composition and potential impact on animal performance. *Animal Nutrition Conference*. pp: 5870.
- Siciliano-Jones JL, Socha MT Tomlinson DJ, DeFrain JM (2008) Effect of Trace Mineral Source on Lactation Performance, Claw Integrity, and Fertility of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 91: 1985-1995.
- Spears JW, Weiss WP (2008) Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *The Veterinary Journal* 176: 70-76.
- Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, Havlin JL (1993) *Soil Fertility and Fertilizers*. New York, NY. 648 p
- Unmack A (2011) Constituents of calculi from the urinary tract of bulls and bullocks. Evidence of silica urolithiasis in cattle in Denmark. *Kongelige Veterinaer- og Landboho iskol es Aarsskrift* 1963: 1-12.
- Waldron MR (2010) Impact of metabolic and oxidative stressors on periparturient immune function and health. *Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop*. pp 33-39.
- Weiss WP, Pinos-Rodriguez JM, Socha MT (2010) Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation cows. *Journal of Dairy Science* 93: 2153-2160.
- Whitehead CD (2000) *Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationship*. CABI Publishing. New York, USA. 363 p.