



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA,
INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIAGNÓSTICO MINERAL DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN OVINA EN TEPATITLÁN, JALISCO

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

MARÍA ELENA TORRES LECHUGA

Bajo la supervisión de: MAXIMINO HUERTA BRAVO, Ph



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Abril 2013

Chapingo, Estado de México

DIAGNÓSTICO MINERAL DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN OVINA EN TEPATITLÁN, JALISCO

Tesis realizada por **MARÍA ELENA TORRES LECHUGA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph.D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR:



Ph.D. RODOLFO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:



Dr. JOSÉ ARTEMIO CADENA MENESES

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	Importancia de la nutrición mineral en los ovinos	3
2.2	Características, deficiencias y toxicidad de los minerales	6
2.2.1	Calcio.....	6
2.2.2	Fósforo	7
2.2.3	Potasio.....	7
2.2.4	Magnesio.....	8
2.2.5	Sodio.....	8
2.2.6	Cobre.....	9
2.2.7	Zinc	9
2.2.8	Selenio.....	9
2.2.9	Arsénico	10
2.3	Fuentes de minerales para los ovinos.....	11
2.3.1	Alimentos: forrajes y concentrados	11
2.3.2	Suplementos minerales orgánicos e inorgánicos.....	13
2.3.3	Agua.....	14
2.3.4	Suelo.....	15
2.4	Factores que pueden influenciar el estado mineral en los animales	15
2.4.1	Biodisponibilidad.....	15
2.4.2	Interrelaciones entre minerales	16
2.4.3	Sistemas de producción	18
2.4.4	Estado fisiológico.....	18
2.5	Diagnóstico del estado mineral del animal	19
2.6	Corrección de deficiencias y prevención de toxicidad mineral.....	20

2.7	Literatura citada	20
3	DIAGNÓSTICO MINERAL DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN OVINA EN TEPATITLÁN, JALISCO.....	25
3.1	RESUMEN	25
3.2	ABSTRACT	25
3.3	Introducción	26
3.4	Materiales y métodos	27
3.4.1	Características del área de muestreo	27
3.4.2	Muestreo de suelo	28
3.4.3	Muestreo de alimento	28
3.4.4	Muestreo de agua.....	29
3.4.5	Muestreo de ovinos	29
3.4.6	Análisis en laboratorio.....	30
3.4.7	Análisis estadístico	30
3.5	Resultados y discusión	31
3.5.1	Concentración mineral en suelo	31
3.5.2	Concentración mineral en agua	32
3.5.3	Concentración mineral en fuentes de alimentos para ovinos	35
3.5.4	Concentración mineral en suero sanguíneo de ovinos	36
3.6	Conclusiones	44
3.7	Literatura citada	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos de minerales para ovinos.	4
Cuadro 2. Límites recomendados de concentración máxima (mg L^{-1}) de algunas sustancias que puede contener el agua de bebida para ganado.	14
Cuadro 3. Ingredientes y alimentos muestreados por unidad de producción (UP).	28
Cuadro 4. Concentración de minerales (mg kg^{-1} de MS) en muestras de suelo recolectadas en unidades de producción (UP) ovinas de Tepatitlán, Jalisco.	32
Cuadro 5. Contenido mineral (mg L^{-1}) en agua de bebida de ovinos en unidades de producción (UP) de Tepatitlán, Jalisco.	33
Cuadro 6. Medias y errores estándar de la concentración mineral (mg kg^{-1} de MS) en los principales ingredientes y alimentos utilizados en la alimentación de ovinos en Tepatitlán, Jalisco.	35
Cuadro 7. Nivel de significancia ($\text{Pr}>\text{F}$) del contenido de minerales para grupo de edad de ovinos (GE), unidad de producción (UP) y su interacción (GE x UP).	36
Cuadro 8. Concentraciones medias de minerales (mg L^{-1}) en suero sanguíneo de ovinos en función del grupo de edad.	37
Cuadro 9. Concentraciones medias de minerales (mg L^{-1}) en suero sanguíneo de ovinos en función de la unidad de producción (UP).	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la interacción de grupo de edad y unidad de producción sobre las concentraciones séricas de Ca en ovinos de Tepatitlán, Jalisco	41
Figura 2. Efecto de la interacción de grupo de edad y unidad de producción sobre las concentraciones séricas de Mg en ovinos de Tepatitlán, Jalisco	42
Figura 3. Efecto de la interacción de grupo de edad y unidad de producción sobre las concentraciones séricas de K en ovinos de Tepatitlán, Jalisco	43

DEDICATORIAS

A Dios, por que sin Él simplemente no soy nada.

A mis padres María y Alejo, por los valores y enseñanza que forjaron en mí; por su amor, confianza y apoyo incondicional, aún cuando lejos de ellos me encuentre.

A mis hermanos Elisa y Eliazar, por creer en mí, por el apoyo, confianza y porque sé que siempre estarán donde y cuando yo los necesite.

A Juan González, por ahora ser parte esencial de mi vida.

A Yesica Marín, por su valiosa e incondicional amistad, por siempre alegrarme mis días con sus ocurrencias y sobre todo por creer en mí.

To Gwen Hopkins, thank you for your wonderful advices and support at believe in me.

Y a mí, porque ahora sé que todo triunfo implica reconocer las propias carencias y virtudes, las cuales uno mismo puede convertir en ganancias y dádivas compartidas. También reconocí que incluso los más sabios y triunfadores de nuestro mundo padecen etapas de abrumadora angustia y de fracaso; sin embargo, aprendemos que no hay paz sin problemas, descanso sin esfuerzo, risas sin pesadumbres, ni victorias sin luchas y que es el precio que todos debemos pagar por vivir.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por otorgarme la beca para la realización de mi maestría, ya que sin ella prácticamente me hubiera sido imposible realizarla.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por haberme formado profesionalmente, por inculcarme y reforzar valores que solo aquí se ponen a prueba, como lo es el amor y respeto al pueblo y tierra mexicana.

A la comunidad del Posgrado en Producción Animal, por todas las enseñanzas, apoyo y confianza que depositaron en mí, los cuales siempre fueron en el momento oportuno y de la mejor manera.

Al Centro Estatal de Capacitación y Seguimiento (CECS) Jalisco, a los evaluadores de la Instancia de Seguimiento y Evaluación Estratégica Pecuaria (ISEE) y a los productores que integran la red ovino-caprino, gracias por el interés, confianza y oportunidad de ser parte de este trabajo de investigación.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo, por su valiosa dirección en este trabajo de investigación y por compartir sus conocimientos. A su esposa Ana María Bugallo por su apoyo, consejos y confianza depositada en mi persona.

Al Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde, por colaborar en la realización del presente trabajo, por su paciencia, comprensión y contribución en la edición de esta tesis.

Al Dr. José Artemio Cadena Meneses, por compartir sus conocimientos de forma práctica y amena, por las aportaciones y tiempo dedicado a este trabajo de investigación.

A Saúl Castañeda y Sr. Indalecio Flores por sus enseñanzas y apoyo en laboratorio. A Diana Chimal y Pedro Meda, por su ayuda durante el trabajo de laboratorio. A mis compañeros Juan, Saúl, Isabel, Trinidad, José Luis y Reyna, por hacerme más amena mi paso por el posgrado y por su ayuda cuando la requerí.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	María Elena Torres Lechuga
Fecha de nacimiento	29 de julio de 1984
Lugar de nacimiento	Chihuahua, Chihuahua
CURP	TOLE840729MCHRCL04
Profesión	Ingeniero Agrónomo en Sistemas Pecuarios de Zonas Áridas
Cédula profesional	6968594

Desarrollo académico

Bachillerato	Telebachillerato "Octavio Paz" 8929
Licenciatura	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo
Maestría	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La nutrición ejerce gran influencia sobre la reproducción, producción de leche y crecimiento de corderos en los rebaños ovinos; ésta representa el 60% o más de los costos de producción de una granja; de forma general los nutrientes requeridos por los animales son: agua, energía (carbohidratos, grasas y aceites), proteínas, vitaminas y minerales (Kleinschmidt, 2009), siendo estos últimos de gran importancia dentro de la nutrición, ya que realizan funciones biológicas que pueden interferir con el buen uso de otros nutrientes por el animal; dada esta situación, se requiere el manejo de una nutrición mineral de forma sostenible en la ovinocultura, lo que contribuirá a producir productos económicamente viables y sanos para los consumidores, sin perjudicar el equilibrio ambiental, contribuyendo así al mejoramiento de los suelos empobrecidos y a la conservación del agua (Blandón, 2003).

El manejo de la nutrición mineral debe estar en función de los requerimientos de los animales, ya que estos requerimientos varían de acuerdo con su edad, y estado fisiológico y nutricional. El consumo en exceso de algunos elementos minerales puede alterar el balance homeostático y causar efectos tóxicos en el animal; por el contrario, en un animal con deficiencias minerales se puede alterar el balance de las funciones de otros elementos que promueven la salud (Soetan *et al.*, 2010). En los primeros estadios de deficiencia, algunos minerales pueden suprimir la tasa de crecimiento en ovejas, tornándose más visibles las deficiencias de minerales cuando se afecta el sistema inmune, al grado de perder la capacidad de resistencia contra patógenos (McClure, 2003).

La principal fuente de minerales para el ganado es el alimento. El contenido mineral en los forrajes es influenciado por la especie de planta, etapa de madurez, manejo de praderas y cosechas, además por el contenido mineral en el suelo de origen. El suelo puede ser fuente directa de minerales para el animal al presentar geofagia en situaciones de deficiencia de minerales, es decir, el animal consume suelo intentando satisfacer sus requerimientos (Smith *et al.*,

2000). El agua también es una fuente importante de minerales tanto para la planta como para el animal.

En el Capítulo 2 del presente documento se presenta una revisión de literatura, donde se analiza la importancia que tiene la nutrición mineral en los ovinos, mediante el conocimiento de las funciones de algunos minerales en el organismo, así como los efectos negativos de una deficiencia o desbalance mineral en el animal. Además, también se describen las posibles formas y fuentes de suplemento de estos elementos, así como de los factores propios y externos al animal que pueden afectar la adquisición y biodisponibilidad de minerales por el animal. Finalmente, en esta sección se discute la importancia de realizar un diagnóstico del estado mineral de los animales, y la corrección de deficiencias y prevención de toxicidades por minerales.

En el Capítulo 3 se presenta un estudio donde se ejemplifica un diagnóstico mineral en ovinos y las fuentes de minerales disponibles para la región de Tepatitlán, Jalisco, con el fin de conocer la presencia de deficiencias, toxicidades o desbalances minerales que pudieran afectar de forma directa o indirecta al animal.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la nutrición mineral en los ovinos

Debido a sus funciones, 22 elementos minerales se han reconocido como esenciales para mantener una buena salud y óptima productividad en el animal; de éstos, siete son macrominerales (calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, magnesio y azufre) y 15 microminerales o minerales traza (hierro, iodo, zinc, cobre, manganeso, cobalto, molibdeno, selenio, cromo, aluminio, vanadio, flúor, silicio, níquel y arsénico) (Underwood, 1981). Los macrominerales son requeridos en cantidades mayores y se expresan en % o g kg^{-1} de la dieta, mientras que los microminerales son requeridos en pequeñas cantidades y se expresan en mg kg^{-1} de la dieta o ppm.

Los requerimientos óptimos (Cuadro 1) corresponden al nivel de consumo que asegure un balance cero en animales adultos, siendo suficientemente positivo para animales en crecimiento. Meschy (2000) recomienda ofrecer minerales por arriba de los requerimientos, para tener un margen de seguridad, el cual tome en consideración las variaciones entre los animales.

Cuadro 1. Requerimientos de minerales para ovinos.

Elemento**	Corderos	Ovejas jóvenes (un año)				Ovejas maduras				Sementales	
	Crecimien- to (20-80 kg)	Mante- nimiento	Aparea- miento	Gestación	Lactación	Mante- nimiento	Aparea- miento	Gestación	Lactación	Mante- nimiento	Aparea- miento
Ca	2.3-8.4	1.8-3.5	3.6-8.7	4.4-20.7	3.9-11.5	1.8-3.7	2.1-4.5	3.4-16.7	2.7-14.5	3.3-5.2	3.6-5.7
P	1.5-7.6	1.4-3.3	2.1-5.7	2.8-12.6	2.5-10.1	1.3-3.5	1.5-4.2	2.4-11.2	2.3-13.8	3.1-5.3	3.4-5.9
Na	0.4-1.6	0.5-1.4	0.5-1.6	0.6-1.9	0.6-2.5	0.5-1.7	0.5-1.7	0.6-2.1	0.6-3.3	1.2-2.4	1.2-2.5
K	2.9-12.7	4-10.4	5.5-14.9	5.7-16.4	6.6-20.8	3.9-11.6	4.2-12.3	4.7-18	5.2-27.2	9.3-17	9.9-18.1
Mg	0.6-2.6	0.7-2.1	0.9-2.5	1-3.5	1.1-4.6	0.7-2.5	0.8-2.6	0.9-3.8	1.0-6.2	1.8-3.5	1.9-3.7
Cu	3.1-14.2	2.7-8	3.7-11	6.3-21.9	5.9-21.2	2.7-9.3	3-10.2	5.9-23.5	4.8-28.2	6.7-13.3	7.5-14.7
Se	0.09-0.45	0.02-0.05	0.07-0.19	0.06-0.21	0.12-0.63	0.02-0.06	0.03-0.10	0.03-0.13	0.08-0.92	0.04-0.08	0.08-0.15
Zn	13-90	20-61	30-88	35-115	37-150	20-71	23-79	30-113	30-204	51-101	58-114

** Las concentraciones de macrominerales están dados en g kg⁻¹ de MS y las concentraciones de microminerales en mg kg⁻¹ de MS. Fuente: NRC (2007)

Suttle (2010) clasifica las funciones que los minerales pueden llevar a cabo en los animales en cuatro tipos:

- *Reguladoras.* Algunos minerales regulan la replicación y diferenciación celular. Ejemplos: iones de Ca influyen en la señal de transducción y selenocisteína influye en la transcripción de genes.
- *Fisiológicas.* Existen minerales presentes en los fluidos y tejidos corporales, como electrolitos encargados de mantener la presión osmótica, el balance ácido-base, permeabilidad de la membrana y transmisión de impulsos nerviosos. Ejemplos: Na, K, Cl, Ca y Mg en sangre, fluido cerebroespinal y jugos gástricos.
- *Estructurales.* Minerales que forman componentes estructurales de los órganos y tejidos del cuerpo. Ejemplos: Ca, P y Si en huesos y dientes. Fósforo y S en proteínas del músculo. Zinc y P contribuyen a la estabilidad estructural de las moléculas y membranas de las cuales forman parte.
- *Catalíticas.* Ciertos minerales pueden actuar como catalíticos en sistemas enzimáticos y endocrinos, como componente integral o específico de las estructuras de metaloenzimas y hormonas o como activadores (coenzimas) dentro de estos sistemas. Las actividades pueden ser anabólicas o catabólicas, originadoras de vida (oxidante) o protectoras de vida (antioxidantes).

Un elemento mineral puede realizar varias funciones al mismo tiempo en el animal, en la planta que sirve de alimento al animal o en el agente patógeno que afecta al animal. Los desbalances de minerales esenciales en la dieta comprometen el desarrollo, reproducción y salud del animal (NRC, 2005).

Diversos minerales esenciales también influyen sobre la actividad microbiana al ser adicionados al rumen, modificando los patrones de fermentación ruminal, mediante diversos mecanismos tales como la alteración de propiedades físico-químicas del medio y cambios enzimáticos en absorción o cinética ruminal; no

obstante, para el uso apropiado de minerales esenciales como aditivos o agentes de manipulación de la fermentación ruminal hay que considerar las diferencias entre requerimientos y rangos de tolerancia para microorganismos ruminales y para el animal hospedante, de lo contrario se pueden promover efectos indeseables, como la contaminación del suelo y agua. La magnitud de tal contaminación dependerá de la frecuencia y dosis utilizadas, de la retención del producto por el animal y de la concentración de animales por unidad de superficie (Arelovich, 2008).

2.2 Características, deficiencias y toxicidad de los minerales

2.2.1 Calcio

El calcio es el mineral más abundante en el cuerpo animal, 98% se encuentra en huesos y dientes. Sus funciones son: permeabilidad de la membrana, contracciones musculares, función nerviosa, regulación cardíaca y actividad enzimática. Requiere de la vitamina D para su absorción activa (Kleinschmidt, 2009).

La deficiencia de Ca provoca raquitismo en animales jóvenes, osteomalacia en adultos, fiebre de leche en animales en lactación (el raquitismo también puede ser causado por deficiencias de P o vitamina D3), y huesos menos resistentes, lo cual puede provocar fracturas y dientes suaves con desgastes irregulares. En animales en crecimiento con dietas altas en grano pueden presentar golpeteo de rodillas, patas arqueadas o en forma de “Z”, también se puede presentar urolitiasis cuando la relación Ca:P en cereales es <1 (NRC, 2007).

La toxicidad por Ca puede provocar una hipercalcemia y una calcificación de tejidos suaves (McDowell, 1989), lo que puede agravarse cuando se utilizan plantas que contienen el metabolito activo de la vitamina D3.

2.2.2 Fósforo

El fósforo es el mineral más deficiente en el mundo, por lo cual generalmente debe ser suplementado a los animales (Su *et al.*, 2006). Alrededor del 85% del P en el cuerpo puede encontrarse en huesos y dientes, pero también se presenta en células y tejidos del cuerpo (IM, 1997). Este elemento es esencial para el crecimiento de la célula, utilización de energía y mantenimiento del balance ácido-base; es un componente del ADN y es requerido por los microbios del rumen para su óptimo crecimiento y actividad (Kleinschmidt, 2009).

La deficiencia de este elemento causa reducciones en el consumo de alimento y pica, resultando en una reducción de ganancia de peso, baja mineralización de huesos y por tanto deformaciones de los mismos; supresión de celos, bajas tasas de concepción y disminución de la producción de leche (Underwood y Suttle, 1999).

2.2.3 Potasio

El potasio es el tercer mineral más abundante en el cuerpo, es el principal ion intracelular de los tejidos, y es esencial para el mantenimiento osmótico y balance de fluidos en el cuerpo (Kleinschmidt, 2009); participa en reacciones intracelulares que involucran fosfatos, con efectos sobre la actividad enzimática y la contracción muscular (Thompson, 1972).

La deficiencia de K provoca una reducción en el apetito de los corderos en crecimiento, debilidad muscular, parálisis y acidosis intracelular (Suttle, 2010). La tetania de los pastos en ganado se ha asociado al consumo de forrajes tiernos con concentraciones altas de K y bajas en Mg. Además, las alteraciones de K y Mg en suero pueden afectar el metabolismo intermediario de carbohidratos, resultando en hipomagnesemia y cetosis, generalmente acompañadas de una tetania de los pastos (Lentz *et al.*, 1976). Gosselin *et al.*

(1984) mencionan que la intoxicación por altos consumos de K es rara, dado que el K es rápidamente excretado en ausencia de daños en el riñón.

2.2.4 **Magnesio**

Alrededor del 65 al 70% del Mg es encontrado en el esqueleto, éste participa en el metabolismo de carbohidratos y grasas, como catalítico en más de 300 sistemas enzimáticos (Kleinschmidt, 2009), y en la conducción nerviosa y contracciones musculares (Masters y White, 1996). El Mg es un cofactor que permite a la hormona paratiroidea estimular la producción del AMP cíclico en los tejidos que lo requieren. La incapacidad de los huesos y riñones para responder a la hormona paratiroidea resulta en hipocalcemia (Goff, 2008).

Las manifestaciones de deficiencia de Mg son: pérdida de apetito, tetania, pérdida de condición, baja producción de leche y alta mortalidad. Una segunda causa de hipocalcemia es hipomagnesemia (Masters y White, 1996).

La toxicidad por Mg en rumiantes provoca alteraciones en las papilas y epitelios ruminales, diarreas, pérdida del apetito y del tono muscular, parálisis del músculo y urolitiasis (Suttle, 2010).

2.2.5 **Sodio**

El sodio es un electrolito indispensable en los fluidos corporales, y usualmente sus funciones se consideran en conjunto con el cloro. Este mineral funciona como transportador de aminoácidos y glucosa, además promueve las contracciones musculares (Kleinschmidt, 2009). El Na es el principal catión del fluido ruminal, éste incrementa la osmolaridad ruminal lo cual influye sobre el consumo y la digestión (Arelovich, 2008).

Entre los signos de deficiencia de Na en los animales, se pueden presentar consumo de suelo o pica, reducción del crecimiento y baja de producción de leche (Masters y White, 1996). En cuanto al consumo en exceso de Na, la consecuencia es una restricción del consumo y por ende se reduce el

comportamiento de los animales; también existe la posibilidad de desarrollar edemas por la retención de Na y K (NRC, 2005).

2.2.6 **Cobre**

Las funciones en las que el Cu participa son: movilización y transporte de Fe en el cuerpo, síntesis de colágeno ligado al hueso y tejido elástico, pigmentación de pelo y lana, mantenimiento de mielina en el tejido nervioso, formación del rizado de la lana, como antioxidante (Masters y White, 1996) en la formación de hemoglobina, sistemas enzimáticos, y sistemas nervioso e inmune (Kleinschmidt, 2009).

La deficiencia de Cu ocasiona ataxia o parálisis en corderos recién nacidos, fragilidad en huesos, anemia, despigmentación de lana, pérdida del rizado y resistencia de la lana, así como desordenes reproductivos en los animales (Masters y White, 1996). De acuerdo al NRC (2005), los ovinos son los animales de interés zootécnico más susceptibles a la toxicidad por Cu.

2.2.7 **Zinc**

El zinc es importante en el manejo del estrés, respuesta inmune, sistema enzimático, y síntesis de proteínas y ADN (Kleinschmidt, 2009). Los efectos de deficiencia son una reducción en el consumo de alimento y en las tasas de crecimiento, pérdida del rizado de la lana, alopecia, paraqueratosis y reducción en el comportamiento reproductivo (Martin *et al.*, 1994). Cuando se presenta toxicidad por Zn en ovinos, se induce el apetito depravado o pica, caracterizado por excesivo mordisqueo de lana y consumo de sal, se reduce la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen, además de la relación acético-propionato (Suttle, 2010).

2.2.8 **Selenio**

El selenio participa en la detoxificación de peróxidos y en la activación de la hormona tiroidea. La deficiencia de Se provoca lesiones en el corazón y en el

músculo esquelético (miopatía nutricional o enfermedad del músculo blanco), incremento en la mortalidad, infertilidad en ovejas, deficiencia de la hormona tiroidea, reducción del crecimiento en animales y crecimiento de lana, así como del comportamiento reproductivo (Masters y White, 1996). Una selenosis puede presentarse en animales en pastoreo, los cuales pueden sufrir una toxicidad subaguda (estado de ceguera) o crónica (enfermedad de álcali); otras causas de selenosis son ambientes y aguas contaminadas, además de altos niveles de Se suplementado a los animales. En la mayoría de los casos, los animales muestran un decremento del crecimiento y del comportamiento en general, elevadas concentraciones de Se en tejidos (histopatología) y muerte (NRC, 2005).

2.2.9 **Arsénico**

El arsénico generalmente no se acepta como nutriente esencial para el ganado; sin embargo, en cabras, cerdos y ratas los signos de deficiencia de As se caracterizan por una disminución del crecimiento, una reproducción anormal caracterizada por baja fertilidad e incremento en la mortalidad perinatal, una disminución en las concentraciones de triglicéridos en suero, y una muerte con daño miocárdico durante la lactación en cabras (Anke, 1986). En plantas se han observado aumentos en el rendimiento de trigo, centeno, maíz, soya y algodón, cuando el As, en forma de arseniato de calcio, se ha añadido a niveles de 500 a 1200 mg kg⁻¹ (Lepp, 1981).

Las sales inorgánicas solubles en agua como los arsenitos y arseniatos son las más tóxicas, particularmente las formas trivalentes (NRC, 2005). Existen dos tipos de toxicidad: aguda y crónica. La toxicidad aguda es causada por exposiciones accidentales a grandes dosis orales de As inorgánico, siendo el primer síntoma una gastroenteritis, luego una repentina caída de la presión sanguínea, causando un colapso acompañado de empalme muscular, convulsiones y hemorragia gastrointestinal en ovejas expuestas (McCaughey, 2007); en tanto que la toxicidad crónica es causada por una sobreexposición a fuentes orgánicas de As de media y baja toxicidad, presentando en principio

signos de desordenes neurológicos (incoordinación y ataxia). Los animales están en alerta pero aún siguen comiendo y bebiendo (Kennedy *et al.*, 1986).

En general, el suministro de altas concentraciones de minerales genera cambios físico-químicos en el retículo-rumen, estos cambios metabólicos se manifiestan a través de alteraciones en la osmolaridad, pH, potencial redóx, síntesis de productos finales de fermentación y tasa de degradación del sustrato (Arelovich, 2008).

2.3 Fuentes de minerales para los ovinos

Las principales fuentes minerales para los ovinos son los alimentos. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias el agua puede aportar algunas cantidades de minerales como son I, Mn, Fe, S, Na, Cl, Mg y As. Además, las prácticas de manejo como lo es un sobrepastoreo o el clima pueden causar un consumo de suelo que puede proveer importantes concentraciones de Co, I, Fe, Mn o Se al animal (Whitehead, 2000).

2.3.1 Alimentos: forrajes y concentrados

Una fuente importante de minerales para los animales, especialmente para los recién nacidos, es el calostro. En mamíferos, la fase acuosa del calostro contiene altas concentraciones de iones principales (Na y Cl) (Ruckebusch *et al.*, 1991).

En general, las leguminosas son más ricas que los pastos en todos los elementos, excepto en manganeso y silicio (Underwood, 1977; Suttle, 2010), siendo las hojas más ricas que los tallos en todos los minerales (Minson, 1990). Los cereales son extremadamente deficientes en Ca y ricos en P (NRC, 2007). Algunas fuentes de Ca incluyen carbonato de calcio, piedra caliza, cloruro de calcio y fosfato dicálcico.

Los forrajes maduros son bajos en K, mientras que los forrajes en crecimiento y harinas de semillas de aceites son altos. Weil *et al.* (1988) y Underwood y Suttle

(1999) encontraron que dietas basadas en granos de cereales, así como sus subproductos y fuentes de nitrógeno no proteíco son bajas en K.

Soetan *et al.* (2010) mencionan que las fuentes vegetales comúnmente utilizadas en la nutrición animal contienen bajos niveles de Na, por lo que es necesario el suministro de cloruro de sodio para cubrir las necesidades nutritivas de los animales.

Las fuentes de P incluyen fosfato dicálcico, fosfato monosódico, fosfato monoamónico y harina de hueso. Un problema relacionado con las fuentes de P es su alto contenido de F (NRC, 1980). De acuerdo con Soetan *et al.* (2010), en las plantas el P es transferido al grano conforme maduran. En los granos de cereal, de un 60-80% del P total se encuentra en forma orgánica como ácido fítico (Bravo *et al.*, 2003), el cual puede ser aprovechado por los rumiantes, debido a la presencia de enzimas fitasas creadas por los microorganismos del rumen para hidrolizar los compuestos de P orgánico, facilitando su absorción (Hays y Swenson, 1985; Clark *et al.*, 1986). Los corderos en lactancia presentan una concentración mayor de fitasas en suero que las madres, y hasta que son destetados, las concentraciones de fitasas se establecen dentro del rango normal. Un consumo alto de P predispone a los animales a presentar cálculos urinarios (Suttle, 2010).

En síntesis, los forrajes son ricos en K y Fe, deficientes en Na y presentan concentraciones variables de otros elementos. Los concentrados son ricos en P y son deficientes en Ca, Na y probablemente en Fe, K, Cu, Zn, Mn, I y Co, pero la concentración mineral en forrajes depende del pH y fertilidad de los suelos, especie de forraje, estado de madurez, estación, clima, agua de riego y condiciones atmosféricas. El clima y la estación de crecimiento de los forrajes pueden cambiar su concentración mineral. Los efectos climáticos están asociados con el pH del suelo, lixiviación, especies de forrajes y madurez (NRC, 2007). Además, el contenido de humedad, temperatura, luz y propiedades del suelo afectan tanto la disponibilidad mineral en suelo y consumo de nutrientes,

así como también la acumulación de minerales dentro de la planta (Osvalde, 2011).

2.3.2 Suplementos minerales orgánicos e inorgánicos

Los suplementos minerales pueden ser divididos en dos grupos: sales inorgánicas, que típicamente incluyen un grupo sulfato u óxido, y los quelatos orgánicos, donde el mineral es covalentemente ligado a un aminoácido o complejo proteínato (Wagner *et al.*, 2011).

En la actualidad, aún existe controversia acerca de cuál es la fuente mineral más efectiva como suplemento para los animales. Ledoux y Shannon (2005) mencionan que existe un gran potencial para el uso de fuentes orgánicas como Cu y Zn, ya que se puede reducir el impacto negativo en el ambiente; sin embargo, estos mismos autores mencionan que un elevado suministro de algunos minerales disminuye el pH ruminal, el cual al ser modificado altera el flujo de minerales hacia el tracto inferior y las características del proceso de fermentación.

Spears (1989) reportó una absorción similar de Zn en corderos suplementados con óxido de zinc y corderos suplementados con metionina de zinc; no obstante, el Zn de la metionina presentó mayor retención como resultado de una baja excreción urinaria. Ledoux y Shannon (2005) reportaron que el uso de proteínato de Cu resulta en una mayor actividad de ceruloplasmina que el sulfato de Cu; no obstante, ovejas suplementadas con sulfato de Cu tienen mayores niveles de Cu depositados en hígado que las suplementadas con proteínato de Cu.

La suplementación de Se en formas orgánicas, como la selenometionina o levaduras selenizadas, resulta en concentraciones mayores de Se en tejido y en leche al compararlas con formas inorgánicas como el selenito (Spears, 2003).

2.3.3 Agua

El consumo de agua por los animales es variable, dependiendo del tamaño, estado físico, nivel de actividad y consumo de materia seca (MS); así como por la calidad del agua y temperatura ambiental a que está expuesto. La calidad del agua es tan importante como la cantidad, dado que la calidad puede afectar el consumo y salud del animal (Kleinschmidt, 2009). En el Cuadro 2 se muestran los límites de concentración de algunas sustancias en agua, recomendados para considerar un agua de buena calidad para bebida del ganado.

Cuadro 2. Límites recomendados de concentración máxima (mg L⁻¹) de algunas sustancias que puede contener el agua de bebida para ganado.

Substancia	Límite de concentración máxima
Aluminio	5.00
Arsénico	0.20
Boro	5.00
Cadmio	0.05
Cromo	1.00
Cobalto	1.00
Cobre	0.50
Flúor	2.00
Plomo	0.05
Mercurio	0.01
Nitritos + Nitratos	100.00
Selenio	0.05-0.10
Vanadio	0.10
Zinc	24.00
Sólidos Totales Disueltos	10,000.00
Sulfatos de Magnesio + Sodio	5,000.00
Alcalinidad (carbonatos +bicarbonatos)	2,000.00

Fuente: Pfost y Fulhage (2001)

La tolerancia del ganado a los minerales en agua depende de factores como el tipo, estado fisiológico y edad del animal; además del tipo y cantidad de sales presentes en agua y ambiente (Pfost y Fulhage, 2001).

2.3.4 Suelo

De acuerdo con Osvalde (2011), el 60% de los suelos cultivados presenta limitantes para el crecimiento de las plantas, los cuales son principalmente relacionados con deficiencias y toxicidades de nutrientes minerales. White y Brown (2010) mencionan que la producción de cultivos comúnmente es limitada por la baja fitodisponibilidad de minerales esenciales y la presencia de concentraciones excesivas de elementos minerales potencialmente tóxicos en el suelo, como Na, Cl, B, Mn, Al y Fe; sin embargo, las concentraciones de minerales disponibles para las plantas pueden incrementarse mediante la aplicación de fertilizantes minerales y el cultivo de nuevos genotipos con concentraciones adecuadas de los elementos deseados. Esto es importante para los animales que bajo ciertas circunstancias llegan a presentar geofagia, un ejemplo son los animales en pastoreo, quienes pueden consumir altos niveles de Fe al consumir suelo (Osvalde, 2011). Suttle *et al.* (1975) estimó que durante el invierno la ingestión de suelo puede exceder en 10% el consumo de materia seca en ovejas y bovinos en pastoreo, lo cual puede reducir la absorción de Cu (Ledoux y Shannon, 2005).

2.4 Factores que pueden influenciar el estado mineral en los animales

El tipo y composición del suelo, fuente de agua, especies de plantas, clima, y otros factores ambientales influyen en la presencia de problemas relacionados con desbalances minerales, ya sea en suelo, agua, especies vegetales y animales.

2.4.1 Biodisponibilidad

La biodisponibilidad se define como la proporción absorbida de un mineral ingerido por el animal, transportado a su sitio de acción y convertido a formas fisiológicamente activas (O'Dell, 1983). Esta biodisponibilidad puede ser afectada por la especie animal, estado fisiológico, nutrición previa, interacciones

con otros nutrientes e ingredientes en la dieta, criterio de respuesta elegido, y forma química y solubilidad del elemento mineral (Ammerman *et al.*, 1995).

2.4.2 Interrelaciones entre minerales

O'Dell (1997) define las interacciones minerales como “interrelaciones entre elementos minerales causadas por respuestas fisiológicas o bioquímicas”, y estas interacciones las divide en positivas (sinérgicas) y negativas (antagónicas). Una alta concentración de un elemento antagónico disminuye la efectividad biológica del elemento con quien interactúa. Las interacciones antagónicas a menudo se expresan como una inhibición mutua de absorción en el tracto intestinal, pudiendo ocurrir también a nivel celular (Henry y Miles, 2000). Las interacciones pueden ocurrir entre dos o más elementos (Ledoux y Shannon, 2005), pudiendo modificar su disponibilidad y ser una causa importante de deficiencias o excesos de minerales. Estos problemas pueden incrementarse con desbalances naturales o pueden ser inducidos por prácticas de manejo que promueven la ingestión del suelo, contaminación de fuentes de agua, o suplementación mineral adecuada. Las interacciones pueden presentarse durante la absorción, transporte, consumo celular, función intracelular, o en los sitios de almacén o excreción (NRC, 2007). A continuación se mencionan algunas de las interacciones minerales más importantes:

Interacción Cu-S-Mo. En el rumen, el S proveniente de la dieta es reducido a sulfito, el cual interactúa con el Mo para formar tiomolibdatos (Mason, 1986). En el tracto gastrointestinal algunos tiomolibdatos enlazan el Cu para prevenir su absorción; además, se ha observado que los tiomolibdatos absorbidos causan efectos sistémicos sobre el metabolismo del Cu, como el incremento en la excreción biliar de Cu almacenado en el hígado, la reducción del transporte de Cu disponible para procesos bioquímicos; y la remoción del Cu de las metaloenzimas (Spears, 2003). La formación de tiomolibdatos parece ser dependiente de la concentración total de S en la dieta (Ledoux y Shannon, 2005), los suplementos altos en proteína son un ejemplo de alimento con alto contenido de S. Spears (2003) mostró que con concentraciones bajas de sulfito

ruminal, se disminuyó el efecto del Mo sobre la disponibilidad de Cu, mientras que con altas concentraciones de sulfito, la disponibilidad del Cu disminuyó drásticamente.

Interacción Cu-Fe. Altas concentraciones de Fe en la dieta o en el suelo reducen la concentración de Cu en ovinos (Prabowo *et al.*, 1988). La acción antagónica del Fe sobre la absorción del Cu en el intestino puede ocurrir mediante tres mecanismos: enlazamiento de iones sulfito a formas solubles de Fe provenientes del rumen, formando sulfitos de hierro (FeS), que previenen la unión del Cu con los sulfitos, lo cual dificulta la absorción del Cu; enlazando el Cu a componentes de Fe insolubles; y mediante la utilización de transportadores inespecíficos de múltiples metales por las formas solubles de Fe, previniendo que el Cu se una a estos acarreadores y pueda ser absorbido (Garrick *et al.*, 2003; Suttle, 2010).

Interacción Cu-Zn. Se ha demostrado que altas concentraciones de Zn en la dieta disminuyen la acumulación de Cu; por tanto, en algunos rebaños ovinos se han usado protocolos de tratamiento con Zn para prevenir la toxicidad por Cu, reduciendo los niveles de Cu en hígado (Van der Schee *et al.*, 1983; Radostits *et al.*, 2000).

Interacción Ca-Zn. Las concentraciones de Ca en la dieta han demostrado afectar diferencialmente la biodisponibilidad de Zn de origen orgánico e inorgánico (Perry *et al.*, 1968; Ledoux y Shannon, 2005;). Domínguez y Huerta (2008) encontraron que el exceso de Ca en el forraje reduce la absorción de Zn y su concentración en el suero, mientras que un mayor aporte de Zn en el forraje aumentará su concentración en el suero; sin embargo, las concentraciones elevadas de Ca en la dieta no incrementan los requerimientos de Zn en corderos (Pond y Wallace, 1986).

Interacción Se-S. La adición de S a dietas deficientes en Se ofrecidas a ovejas preñadas incrementan la incidencia de músculo blanco en los corderos. Un incremento de S de 2.1 a 7 g kg⁻¹ en la dieta resulta en un decremento lineal de

Se en plasma y en la absorción de Se en vacas lactantes (Ledoux y Shannon, 2005)

Otras interacciones. El nivel de metales tóxicos como Cd y Pd disminuye en el suero conforme los niveles de Se en suero se incrementan, por lo que los niveles óptimos de Se en los animales pueden prevenir la acumulación de elementos tóxicos en su organismo y por tanto en sus productos para consumo humano (Tomza-Marciniak *et al.*, 2011).

Los niveles de Mg en suero son disminuidos por los niveles de proteína (Hendricks *et al.*, 1970), así como por el nivel de Ca y P en la dieta (Underwood y Suttle, 1999).

2.4.3 Sistemas de producción

Los animales criados en sistemas de producción orgánica son menos expuestos a las influencias nocivas de los metales pesados y tóxicos como el Pb, Zn, Fe, Cu, Cr, Ni, As y Al; no obstante, estos animales son más susceptibles a presentar mayores deficiencias de minerales comparados con los animales de granjas convencionales (Tomza-Marciniak *et al.*, 2010).

2.4.4 Estado fisiológico

Factores como la edad, estado fisiológico del animal (crecimiento, gestación, lactación, etc.), estado nutricional, proporción de los diferentes componentes de la dieta, y duración, ruta de exposición y disponibilidad biológica del componente, influyen en el nivel al cual un elemento mineral puede causar efectos adversos en los animales (NRC, 2007). Por ejemplo, la preñez generalmente se asocia con un incremento de los niveles de Cu en el plasma en forma de ceruloplasmina (Howell *et al.*, 1968); la preñez y la lactación constituyen un estrés metabólico; además, durante los periodos de insuficiencias de macrominerales, la madre movilizará nutrientes de sus reservas corporales para cubrir los requerimientos del feto y el tejido reproductivo, siendo estos los prioritarios. Los signos de deficiencias,

imbalances o excesos de macrominerales generalmente son aparentes al final de la gestación, al momento o después del parto (Yildiz *et al.*, 2005).

Los niveles de Ca en suero son controlados por un mecanismo hormonal sensitivo que involucra la vitamina D y la paratormona (Guyton y Hall, 1996; Pearce y Thakker, 1997), por lo que una presencia prolongada de la hormona paratiroidea durante la preñez causa movilización de Ca de los huesos de la madre, manteniendo el nivel de Ca normal en los fluidos intracelulares de la madre, conforme el feto remueve Ca para osificación de sus propios huesos (Elnageeb y Adelatif, 2010). El porcentaje de Ca y P en el cuerpo, y su proporción en el esqueleto es incrementado a través de la vida prenatal y posnatal conforme la osificación del esqueleto progresa en la maduración (Yildiz *et al.*, 2005).

Un incremento del nivel de Zn en suero puede ser atribuido a cambios en el nivel de albúmina en suero, la cual incrementa durante la lactación (Mainoya, 1975), ya que el Zn está ligado principalmente a la albúmina (Elnageeb y Adelatif, 2010).

2.5 Diagnóstico del estado mineral del animal

La valoración del estado mineral de los animales requiere del conocimiento del contenido mineral del agua, suelo de donde los alimentos son obtenidos, dietas usadas, fluidos, tejidos (sangre, huesos, hígado), así como también cualquier signo clínico mostrado por el animal (NRC, 2007). Un diagnóstico es confirmado cuando el problema es corregido y el animal regresa a su condición normal.

Las concentraciones de macro y microminerales en el suero representan mecanismos homeostáticos relacionados con el estado nutricional y la regulación hormonal en el animal (NRC, 1980), por lo cual es común que se lleve a cabo el diagnóstico del estado mineral de los animales a través del análisis de suero sanguíneo. Otras formas de conocer el estado mineral de los animales es mediante el análisis de tejidos, órganos, lana o pelo.

2.6 Corrección de deficiencias y prevención de toxicidad mineral

El mejoramiento de la condición del animal puede lograrse mediante la fertilización de suelos donde se producen los alimentos o mediante la suplementación de los minerales requeridos en la dieta. La fertilización puede ser la práctica más deseable para la mayoría de los minerales, porque se da una respuesta en la planta y en el animal (Minson, 1990). La suplementación de minerales en la dieta debe hacerse tomando en cuenta los requerimientos de los animales, con base en su estado fisiológico y características de desarrollo, así como el ambiente en el que se encuentran, por ejemplo el tipo de suelo y agua, entre otros.

2.7 Literatura citada

- Ammerman, C. B., D. H. Baker, and A. J. Lewis. 1995. Bioavailability of Nutrients for Animals: Amino Acids, Minerals, and Vitamins. Academic Press, New York, NY, USA. 441 p.
- Anke, M. 1986. Arsenic. *In*: Trace Elements in Human and Animal Nutrition, Vol.2, W. Mertz (ed.). Academic Press, Orlando, FL, USA. pp. 347–372.
- Arelovich, H. M. 2008. Elementos minerales. Su impacto en la fermentación ruminal. *Revista Argentina de Producción Animal* 28(3): 235-253.
- Blandón, B., J. R. 2003. Ganado Bien Alimentado Ganancia Segura. Manual de Ganadería Sostenible. 1era Edición. Managua, Nicaragua.
- Bravo, D., C. Bogaert, F. Meschy, and D. Sauvant. 2003. Plasma phosphorus content and dietary phosphorus availability in adult sheep. *Animal Research* 52: 427-435.
- Clark, R. G., J. Burbage, J. M. Marshall, T. Valler, and D. Wallace. 1986. Absence of a vitamin B12 weight gain response in two trials with growing red deer (*Cervus elaphus*). *New Zealand Veterinary Journal* 34: 199–201.
- Domínguez, V., I. A., y M. Huerta B. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.
- Elnageeb, M. E., and A. M. Adelatif. 2010. The minerals profile in desert ewes (*Ovis aries*): effects of pregnancy, lactation and dietary supplementation. *American-Euroasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 7(1): 18-30.
- Garrick, M. D., K. G. Dolan, C. Horbinski, A. J. Ghio, D. Higgins, M. Porubcin, E. G. Moore, L. N. Hainsworth, J. N. Umbreit, M. E. Conrad, L. Feng, A. Lis,

- J. A. Roth, S. Singleton, and L. M. Garrick. 2003. DMT1: A mammalian transporter for multiple metals, *BioMetals* 16(1): 41–54.
- Goff, J. P. 2008. The monitoring, prevention and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *The Veterinary Journal*. 176: 50-57.
- Gosselin, R. E., R. P. Smith, H. C. Hodge, and J. E. Braddock. 1984. *Clinical Toxicology of Commercial Products*. 5th Edition. Williams & Wilkins. Baltimore, MD, USA. 2009 p.
- Guyton, A. C., and J. E. Hall. 1996. Overview of the circulation, medical physics of pressure, flow and resistance. *In: Textbook of Medical Physiology*. 9th Edition. Saunders, Philadelphia, PA, USA. pp: 161-169.
- Hays, V. W., and M. J. Swenson. 1985. Minerals and bones. *In: Dukes' Physiology of Domestic Animals*. Tenth Edition. pp. 449-466.
- Hendricks, D. G., E. R. Miller, D. E. Ullrey, J. A. Hoefer, and R.W. Luecke. 1970. Effect of source and level of protein on mineral utilization by the baby pig. *Journal of Nutrition* 100: 235-240.
- Henry, P. R., and R. D. Miles. 2000. Interactions among the trace minerals. *Ciencia Animal Brasileira* 1(2): 95-106.
- Howell, J. M., N. Edington, and R. Ewbank. 1968. Observations on copper and ceruplasmin level in blood of pregnant ewes and lambs. *Research in Veterinary Science* 9(2): 160-164.
- IM (Institute of Medicine). 1997. *Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride*. National Academy Press. Washington, DC. USA. pp. 151–152.
- Kennedy, S., D. A. Rice, and P. F. Cush. 1986. Neuropathology of experimental 3-nitro-4-hydroxyphenylarsonic acid toxicosis in pigs. *Veterinary Pathology* 23: 454–461.
- Kleinschmidt, J. 2009. *Sheep and Goat Management in Alberta: Nutrition*. Alberta Lamb Producers and Alberta Goat Breeders Association. Alberta, Canada. 184 p.
- Ledoux, D. R., and M. C. Shannon. 2005. Bioavailability and antagonists of trace minerals in ruminant metabolism. *Proceeding of Florida Ruminant Nutrition Symposium*, February 1-2. Florida, USA. pp. 23-37.
- Lentz, D. E., F. C. Madsen, J. K. Miller, and S. L. Hansard. 1976. Effect of potassium and hypomagnesemia on insulin in the bovine. *Journal of Animal Science* 43: 1082-1087.
- Lepp, N. W. 1981. *Effect of Heavy Metals Pollution on Plants*. Vol. 1. *Effects of Trace Metal on Plant Function*. Applied Science Publishers, London and New Jersey. 352 p.

- Mainoya, J. R. 1975. Effects of bovine growth hormone, human placental lactogen and ovine prolactin on intestinal fluid and ion transport in the rat. *Journal of Endocrinology* 96: 1165-1170.
- Martin, G. B., C. L. White, C. M. Markey, and M. A. Blackberry. 1994. Effects of dietary zinc deficiency on the reproductive system of young male sheep: testicular growth and the secretion of inhibin and testosterone. *Journal of Reproduction and Fertility* 101: 87-96.
- Mason, J. 1986. Thiomolibdates: mediators of molybdenum toxicity and enzyme inhibitors. *Journal of Toxicology* 42: 99-109.
- Masters, D. G., and C. L. White. 1996. Detection and Treatment of Mineral Nutrition Problems in Grazing Sheep. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra, Australia. 117 p.
- McCaughey, W. 2007. Inorganic and organic poisons. *In*: Aitken, I. D. (ed.) *Sheep Diseases*. Blackwell Scientific, London. 641 p.
- McClure, S. J. 2003. Mineral nutrition and its effects on gastrointestinal immune function of sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 1455-1461.
- McDowell, L. R. 1989. *Vitamins in Animal Nutrition: Comparative Aspects to Human Nutrition*. Academic Press. San Diego, CA, USA. 483 p.
- Meschy, F. 2000. Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats. *Livestock Production Science* 64: 9-14.
- Minson, D. J. 1990. *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press, San Diego, CA, USA. 483 p.
- NRC (National Research Council). 1980. *Mineral Tolerance of Domestic Animals*. The National Academies Press. Washington, DC. USA. 586 p.
- NRC (National Research Council). 2005. *Mineral Tolerance of Animals*. 2nd Edition. The National Academies Press. Washington, DC. USA. 511 p.
- NRC (National Research Council). 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. The National Academic Press. Washington, DC. USA. 345 p.
- O'Dell, B. L. 1983. Bioavailability of essential and toxic trace elements. *Federation Proceedings* 42:1714-1715.
- O'Dell, B. L. 1997. Mineral-ion interaction as assessed by bioavailability and ion channel function. *In*: B. L. O'Dell and R. A. Sunde (Eds.). *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 641-659.
- Osvalde, A. 2011. Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management. *Environmental and Experimental Biology Review* 9: 1-8.

- Pearce, S. H. S., and R. V. Thakker. 1997. The calcium-sensing receptor: insights into extracellular calcium homeostasis in health and disease. *Journal of Endocrinology* 154: 371-378.
- Perry, T. W., W. M. Beeson, W. H. Smith, and M. T. Mohler. 1968. Value of zinc supplementation of natural rations for fattening beef cattle. *Journal of Animal Science* 27: 1674–1677.
- Pfost, D. L., and C. D. Fulhage. 2001. *Water Quality for Livestock Drinking*. Published by MU Extension, University of Missouri-Colombia. 4 p.
- Pond, W. G., and M. H. Wallace 1986. Effect of gestation-lactation diet calcium and zinc levels and of parenteral vitamins A, D and E during gestation on ewe body weight and on lamb weight and survival. *Journal of Animal Science* 63: 1019–1025.
- Prabowo, A., J. W. Spears, and L. Goode. 1988. Effects of dietary iron on performance and mineral utilization in lambs fed a forage-based diet. *Journal of Animal Science* 66: 2028-2035.
- Radostits, O. M., C. C. Gay, D. C. Blood, and K. W. Hinchcliff. 2000. *Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Sheep, Pigs, Goats and Horses*. 9th Ed. New York, WB Saunders. pp. 1599–1603.
- Ruckebusch, Y., L. P. Phaneuf, and R. Dunlop. 1991. Lactation. *In: Physiology of Small and Large Animals*. Philadelphia, USA. pp. 615-631.
- Smith, J. W., E. A. Adebawale, F. I. Ogundola, A. A. Taiwo, S. O. Akpavie, A. Larbi, and M. A. Jabbar. 2000. Influence of minerals on the aetiology of geophagia in periurban dairy cattle in the derived savannah of Nigeria. *Tropical Animal Health and Production* 32: 315-327.
- Soetan, K. O., C. O. Olalya, and O. E. Oyewole. 2010. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: a review. *African Journal of Food Science* 4(5): 200-222.
- Spears, J. W. 1989. Zinc methionine for ruminants: relative bioavailability of zinc in lambs and effects of growth and performance of growing heifers. *Journal of Animal Science* 67: 835-843.
- Spears, J. W. 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *The Journal of Nutrition* 133: 1506S-1509S.
- Su, J., Y. Xiao, M. Li, Q. Liu, B. Li, Y. Tong, J. Jia, and Z. Li. 2006. Mapping QTLs for phosphorus-deficiency tolerance at wheat seedling stage. *Plant and Soil* 281: 25-36
- Suttle, N. F., B. J. Alloway, and I. Thornton. 1975. An effect of soil ingestion on the utilization of dietary copper by sheep. *Journal of Agricultural Science* 84(2): 249-254.
- Suttle, N. F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4th Edition. CABI Publishing, UK. 595 p.

- Thompson, D. J. 1972. Potassium in Animal Nutrition. International Minerals and Chemical Corporation, Illinois, USA. 71 p.
- Tomza-Marciniak, A., B. Pilarczyk, M. Bakowska, R. Pilarczyk, and J. Wójcik. 2010. Heavy metals and other elements in serum of cattle from organic and conventional farms. *Biological Trace Element Research* 143: 863-870.
- Tomza-Marciniak, A., B. Pilarczyk, M. Bakowska, R. Pilarczyk, J. Wójcik, A. Marciniak, and D. Hendzel. 2011. Relationship between selenium and selected heavy metals concentration in serum of cattle from a non-polluted area. *Biological Trace Element Research* 144: 517-524.
- Underwood, E. J. 1977. Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 4th Edition. Academic Press. London, UK. 560 p.
- Underwood, E. J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. 2nd Edition. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal, UK. 180 p.
- Underwood, E. J. and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd Edition. CABI Publishing. UK. 624p.
- Van der Schee, W., G. H. Van den Assem, and R. Van der Berg. 1983. Breed differences in sheep with respect to the interaction between zinc and the accumulation of copper in the liver. *Veterinary Quarterly* 5(4): 171-174.
- Wagner, E. L., G. D. Potter, P. G. Gibbs, E. M. Eller, B. D. Scott, M. M. Vogelsang, and R.L. Walzem. 2011. Copper and zinc balance in exercising horses fed 2 forms of mineral supplements. *Journal of Animal Science* 89: 722-728.
- Weil, A. B., W. B. Tucker, and R. W. Hemken. 1988. Potassium requirement of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 71: 1868–1872.
- Whitehead, D. C. 2000. Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing. UK. 384 p.
- White, P. J., and P. H. Brown. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* 105: 1080-2010.
- Yildiz, A., E. Balikci, and F. Gurdogan. 2005. Serum mineral levels at pregnancy and postpartum in single and twin pregnant sheep. *Biological Trace Element Research* 107: 247-254.

3 DIAGNÓSTICO MINERAL DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN OVINA EN TEPATITLÁN, JALISCO

MINERAL DIAGNOSIS IN SHEEP FARMS OF TEPATITLÁN, JALISCO

María Elena Torres Lechuga¹ y Maximino Huerta Bravo²

3.1 RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar las concentraciones de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), fósforo (P), cobre (Cu), zinc (Zn), selenio (Se) y arsénico (As) en muestras de suelo (con excepción de As), agua, alimento y suero sanguíneo de crías y hembras ovinas adultas. La toma de muestras se llevó a cabo en seis unidades de producción (UP) ovinas localizadas en Tepatitlán, Jalisco. Las muestras fueron trabajadas en laboratorio y los resultados fueron analizados con modelos estadísticos que consideraron los efectos de UP para los datos de agua y los efectos de UP, grupo de edad (GE) y su interacción para suero sanguíneo. El suelo presentó deficiencias de Ca, Mg y Se; y niveles adecuados para el crecimiento vegetal de los demás elementos. En agua, el Ca, Mg, Na, Cu y Se fueron inferiores a los niveles máximos tolerables de minerales en agua de bebida para ganado, mientras que K, P y As los excedieron ($p \leq 0.05$) en 23.0, 0.7 y 11.0 veces. El concentrado y la fórmula comercial excedieron el nivel máximo tolerable de Cu; el ensilado de maíz fue deficiente en Ca y Zn; el rastrojo de maíz presentó exceso de K y deficiencia de Zn; el rastrojo con grano presentó deficiencia de Zn, con respecto a los requerimientos minerales para ovinos. El suero sanguíneo presentó deficiencias de Mg, Na, K y Cu; y un exceso de P y As ($p \leq 0.05$) en 0.5 y 20.0 veces los niveles recomendados como adecuados en suero y sangre de ovinos. Las crías y hembras adultas presentaron concentraciones similares ($p \geq 0.05$) de minerales, a excepción de Ca y Zn, los cuales fueron mayores ($p \leq 0.05$) en crías que en hembras adultas. Los niveles séricos más bajos ($p \leq 0.05$) de Cu se encontraron en la UP1 y UP2, mientras que los mayores ($p \leq 0.05$) niveles de Mg y P los presentó la UP2; la UP4 y la UP6 presentaron los niveles séricos más altos de Zn y K respectivamente. Las concentraciones séricas de Ca, Mg y K fueron afectadas ($p \leq 0.05$) por la interacción UP x GE. Los resultados sugieren suplementar los elementos deficientes y mejorar la calidad del alimento y agua que se les proporcione a los ovinos.

Palabras clave: suelo, agua, alimento, suero sanguíneo.

3.2 ABSTRACT

The objective of this research was to determine the levels of calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K), phosphorus (P), copper (Cu), zinc (Zn), selenium (Se) and arsenic (As) in samples of soil (except As), water, foodstuffs and blood serum of lambs and ewes. The sampling was made in six sheep farms (SF) located in Tepatitlán, Jalisco. After the samples were processed in the laboratory, the results were analyzed with statistic models that considered the SF effects for water data; and SF, age group (AG) and their interaction effects for blood serum data. The soil had Ca, Mg and Se deficiencies and adequate levels of the rest of minerals for growing plants. In water, Ca, Mg, Na, Cu and Se were lower than the maximum tolerable levels of mineral in drinking water for livestock, while K, P and As exceeded it ($p \leq 0.05$) in 23.0, 0.7 and 11.0 times. According to the sheep mineral requirements, the concentrate and commercial feed exceeded the maximum tolerable levels of Cu; corn silage had Ca and Zn deficiencies; corn stover had an excess of K, and Zn deficiency; corn stover with corn grain also was Zn deficient. Blood serum was deficient in Mg, Na, K and Cu; with excess of P and As ($p \leq 0.05$) at 0.5 and 20.0 times the levels recommended as adequate in sheep blood serum and whole blood. The lambs and ewes had similar ($p \geq 0.05$) mineral concentrations, except Ca and Zn, which were higher ($p \leq 0.05$) in lambs than ewes. Sheep from SF1 and SF2 had the lowest levels ($p \leq 0.05$) of Cu in serum, while SF2 had the highest ($p \leq 0.05$) levels of Mg and P; the SF4 and SF6 had the highest ($p \leq 0.05$) serum levels of Zn and K, respectively. The Ca, Mg and K concentrations in serum of sheep were affected ($p \leq 0.05$) by the interaction SF x AG. The results suggest a supplementation of deficient minerals and a better water and food quality provided to sheep.

Key words : soil, water, foodstuff, blood serum.

¹ Tesista ² Director

3.3 Introducción

La OECD-FAO (2011) prevé para México, un incremento de 36% en la producción de carne ovina y una disminución de 21% de las importaciones para el año 2020 respecto al 2010. El consumo *per cápita* de 0.7 kg por persona en el 2010 se mantendrá hasta el 2020, como consecuencia del crecimiento de la población, 6% en México (UN-DESA, 2012). A la par de estos cambios se prevé un incremento en la demanda de la carne ovina, en el ingreso económico del medio rural y en la seguridad alimentaria (SIAP-SAGARPA, 2012). Sin embargo, existe la necesidad de atender los problemas que frenan el desarrollo de la ovinocultura en México; uno de los principales problemas, es que el crecimiento de la población se da principalmente en el ámbito urbano, mientras que el tamaño de la población rural, que es donde se encuentran la mayoría de los productores de ovinos, se mantiene o incluso tiende a disminuir ligeramente (UN-DESA 2010). Una de las ventajas de esta situación es que los sistemas de producción bovina tienden a reducirse por la baja disponibilidad de terreno, abriendo paso a la producción de ovinos, cuya eficiencia productiva es mejor en estas condiciones (Adane y Girma, 2008), tomando en cuenta que la productividad del animal puede ser limitada por una baja disponibilidad de nutrientes, enfermedades o por factores genéticos, los cuales son más aparentes y críticos cuando existen deficiencias o desbalances minerales en el animal (Suttle, 1991).

Los efectos de un consumo continuo de dietas con desbalance mineral varían de acuerdo con los elementos deficientes o en exceso, el grado o duración del consumo de la dieta (Chesters y Arthur, 1988), la edad y sexo del animal; y se manifiestan generalmente por una disminución del crecimiento, fertilidad y producción. Los problemas de salud se caracterizan por signos clínicos específicos, cambios patológicos y alta mortalidad, que en condiciones trascendentes o leves puede dificultar su diagnóstico (Underwood y Suttle, 1999). Para determinar del estado mineral de los animales se requiere del conocimiento del contenido mineral del agua, suelo de donde los alimentos son

obtenidos, dietas usadas, fluidos, tejidos y cualquier signo clínico mostrado por el animal (NRC, 2007). Por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el estado mineral de ovinos en diferentes etapas fisiológicas (crías y hembras adultas) y expuestos a diversas fuentes de suelo, agua y alimento, de seis unidades de producción del municipio de Tepatitlán, Jalisco.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Características del área de muestreo

El muestreo se realizó en el mes de mayo (época de secas), en seis unidades de producción (UP): El Capulín (UP1), El Chivatero (UP2), Pajaritos (UP3), Rancho Viejo 1 (UP4), Rancho Viejo 2 (UP5) y El Saúz (UP6) ubicadas en la comunidad de Capilla de Milpillas, municipio de Tepatitlán de Morelos, Jalisco, y las cuales fueron elegidas de acuerdo al interés por participar en el presente estudio (entre las coordenadas 20°LN y 102°LO). El clima de la región es semicálido, subhúmedo con lluvias en verano, suelo luvisol, rango de temperaturas media anual de 16 a 22°C y precipitación de 700 a 1100 mm (INEGI, 2009).

Las UP estudiadas, en su mayoría fueron sistemas productivos mixtos, predominando los bovinos de leche y ovinos, siendo bovinos los de mayor importancia. En promedio, las UP contaban con 120 cabezas de ovinos criollos para producción de carne. El muestreo de suelo, agua, alimento y suero sanguíneo de los ovinos se realizó en temporada de secas y los animales se encontraban en confinamiento. Durante la época de lluvias los rebaños fueron llevados a pastorear.

Los principales problemas observados en relación con desbalances de minerales en los animales fueron: pica, problemas de pelo y lana, anemia, malformaciones óseas en extremidades, cojeras y linfadenitis.

3.4.2 Muestreo de suelo

Las muestras de suelo se colectaron en las áreas donde con anterioridad se había producido parte del alimento que se les ofrecía a los animales, principalmente el maíz. En total se tomaron seis muestras, una por UP; tratando de tener una muestra de aproximadamente 250 g y que fuera lo más representativa del área de muestreo.

Las muestras fueron secadas y molidas para la obtención de su base seca, y su posterior digestión basada en el Manual del Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer, 1996).

3.4.3 Muestreo de alimento

La dieta ofrecida a los animales en las distintas UP se basó principalmente en grano, ensilado y rastrojo de maíz; sólo en ocasiones especiales se suplementó con alimentos balanceados, especialmente a hembras gestantes y corderos lactantes o en engorda. En la mayoría de las UP no suplementaron minerales. De alimento se obtuvieron 20 muestras de 250 g aproximadamente. Los ingredientes y alimentos muestreados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Ingredientes y alimentos muestreados por unidad de producción (UP).

Unidad de producción	Tipo de alimento
UP1	Milo, fórmula, soya, canola, maíz rolado, ensilado de maíz, rastrojo de maíz, creep-feed.
UP2	Concentrado (cebada, canola, milo), rastrojo de maíz, ensilado de maíz.
UP3	Rastrojo de maíz, fórmula comercial, ensilado de maíz.
UP4	Creep-feed, maíz, rastrojo de maíz, fórmula comercial.
UP5	Concentrado de engorda (salvado de trigo, sorgo molido, maíz molido, soya, canola, levadura), rastrojo de maíz, concentrado (salvado de trigo, sorgo molido, maíz molido), levadura de cerveza.
UP6	Fórmula comercial, rastrojo de maíz.

Las muestras de alimento fueron secadas y molidas, para la posterior determinación de materia seca y procesamiento de digestión en el análisis de minerales. La digestión de las muestras se realizó con base en las técnicas específicas para cada elemento mineral publicadas por Fick *et al.* (1979) y Perkin Elmer (1996), excepto As, el cual se basó en la técnica utilizada por Delgado-Andrade *et al.* (2003).

3.4.4 Muestreo de agua

La toma de muestras de agua fue directamente de los bebederos ubicados en los corrales donde se encontraban los animales muestreados. Se tomó un total de 17 muestras de agua (aproximadamente 500 mL por muestra). La principal fuente de agua de bebida fue agua potable, excepto en la UP2, donde parte de los animales andaban en campo y tenían acceso a un jagüey. Las muestras fueron procesadas para la determinación de minerales de acuerdo a las técnicas establecidas por Franson (1992).

3.4.5 Muestreo de ovinos

Los animales muestreados fueron 10 hembras adultas (HA) por UP, sin tomar en consideración su estado fisiológico, es decir se muestrearon tanto ovejas en preñez, lactancia y secas. También se muestrearon 10 crías (C) por UP, dándole preferencia a las crías destetadas; sin embargo, también se muestrearon corderos en lactancia. En total se colectaron 120 muestras de sangre de 20 mL por animal.

Las muestras de sangre fueron obtenidas mediante la venopunción de la yugular con la ayuda de tubos y agujas "vacutainer" y centrifugadas a 2500 rpm durante 15 minutos, para la obtención de suero, el cual fue almacenado a -20°C hasta su procesamiento en laboratorio para la determinación de minerales.

Las técnicas utilizadas para la preparación de las muestras para el análisis de Ca, Mg, Na, K, Cu y Zn fueron las establecidas en el Manual del Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer, 1996); para la

determinación de P se utilizaron las técnicas de Fick *et al.* (1979); la determinación de Se se realizó con base en los procedimientos de Tamari *et al.* (1986); en tanto que para la determinación de As se utilizó el procedimiento desarrollado por Zhang *et al.* (1995).

3.4.6 Análisis en laboratorio

En laboratorio, las concentraciones de Cu, Zn, Ca, Mg, Na y K fueron determinadas mediante el uso de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica de marca *Perkin Elmer, modelo AAnalyst 700*, mientras que As se midió con el Generador de Hidruros del mismo Espectrofotómetro. Las concentraciones de P se obtuvieron mediante el uso de un Espectrofotómetro UV/VIS (*Perkin Elmer modelo Lambda 35*) y el Se mediante un Fluorómetro (*Perkin Elmer modelo LS30*).

3.4.7 Análisis estadístico

Las variables respuesta a analizar para cada componente del muestreo fueron las concentraciones de Ca, Mg, Na, K, P, Cu, Zn, Se y As, excepto en suelo que no se analizó As.

Los datos de los minerales analizados en suelo se reportaron únicamente los promedios de las repeticiones en laboratorio para cada una de las muestras de la unidad de producción. En el caso del alimento, se agruparon los análisis por tipo de ingrediente o alimento, y se reportó el promedio y su desviación estándar para cada uno de los animales.

Para el análisis estadístico de las muestras de agua solo se tomó en cuenta el efecto de unidad de producción (UP). El modelo estadístico empleado fue:

$$Y_{ij} = \mu + UP_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = concentración de cada mineral en agua,

μ = media general de la población,

UP_i = efecto de la i-ésima unidad de producción $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$, y

E_{ij} = error aleatorio.

En el análisis estadístico de las muestras séricas se tomaron en cuenta los efectos de UP y grupo de edad (GE) así como su interacción (UP*GE). El modelo estadístico utilizado en suero fue:

$$Y_{ijk} = \mu + UP_i + GE_j + UP*GE_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = concentración de cada mineral en suero sanguíneo,

μ = media general de la población,

UP_i = efecto de la i-ésima unidad de producción $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$,

GE_j = efecto del j-ésimo grupo de edad $j= C$ (crías), HA (hembras adultas),

$UP*GE_{ij}$ = efecto de la ij-ésima interacción de unidad de producción por grupo de edad, y

E_{ijk} = error aleatorio.

El análisis de varianza de todos los datos se llevó a cabo mediante el procedimiento GLM de SAS y la comparación de medias fue realizada mediante la prueba de Tukey (SAS, 2004).

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Concentración mineral en suelo

En general, para todas las unidades de producción las concentraciones de Ca, y Se en suelo estuvieron por debajo del nivel crítico, lo que puede limitar el desempeño de las plantas o animales (Cary *et al.*, 1967; Castellanos *et al.*, 2000), lo mismo ocurrió con las concentración de Mg (Cuadro 4), con excepción de la UP1. Por el contrario, las concentraciones de K, P, Cu y Zn permiten

considerar los suelos como ricos en estos elementos. Aún cuando el Na no se considera un elemento esencial para la mayoría de las plantas, Rhue y Kidder (1983) sugieren concentraciones superiores a 62 mg kg⁻¹ de MS como adecuadas.

Cuadro 4. Concentración de minerales (mg kg⁻¹ de MS) en muestras de suelo recolectadas en unidades de producción (UP) ovinas de Tepatitlán, Jalisco.

Unidad de producción	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	Fósforo	Cobre	Zinc	Selenio
UP1	1319	367	414	802	889	1.57	9.28	0.11
UP2	444	87	175	341	622	1.59	5.71	0.02
UP3	808	178	154	383	637	1.24	5.42	0.03
UP4	540	124	192	495	724	1.51	8.50	0.03
UP5	516	26	45	244	285	1.38	3.04	0.02
UP6	548	44	278	429	639	6.44	7.05	0.11
NRP*	<1500	<200	<62	<200	<20	<0.9	<1.3	<0.5**

* NRP = niveles críticos de minerales en suelos debajo de los cuales se puede limitar el desempeño vegetal (Adaptado de: Castellanos *et al.*, 2000).

** Concentración de Se en suelos con forrajes causantes de deficiencia de Se en los animales (Cary *et al.*, 1967).

Las altas concentraciones de algunos minerales como Na, K, P, Cu y Zn pueden deberse a la utilización de estiércol en las tierras agrícolas o a la aplicación de fertilizantes. Whitehead (2000), reportó que puede existir un exceso de minerales en suelos, como resultado de la utilización de estiércol en las tierras agrícolas. Sin embargo, la utilización de estos elementos pudo ser afectada por el bajo pH en las unidades de producción muestreadas, ya que el pH promedio de los suelos estudiados fue 4, es decir fueron suelos extremadamente ácidos, de acuerdo a la clasificación establecida por Castellanos *et al.* (2000). Ullrey (1974) y Whiteman *et al.* (1974) mencionaron que suelos ácidos pueden limitar la disponibilidad de Ca, Mg, K, P y Se para las plantas.

3.5.2 Concentración mineral en agua

La composición mineral del agua de bebida fue similar ($p \geq 0.05$) en todas las unidades de producción. En el Cuadro 5 se muestran las concentraciones

minerales encontradas en las diferentes fuentes de agua a las que los ovinos tenían acceso.

Cuadro 5. Contenido mineral (mg L^{-1}) en agua de bebida de ovinos en unidades de producción (UP) de Tepatitlán, Jalisco.

Mineral	Unidad de producción						EEM ^x	Pr>F ^y	NMA*	NMA**
	UP1	UP2	UP3	UP4	UP5	UP6				
Calcio	206	187	245	205	204	191	21.52	0.47	100-300	<1000
Magnesio	36	48	85	49	31	37	6.52	0.28	500	<1000
Sodio	315	277	199	255	227	324	61.37	0.66	200	<800
Potasio	38	29	32	39	29	36	11.47	0.98	-	<20
Fósforo	9.8	7.5	11.2	9.8	3.5	8.0	2.55	0.49	-	<0.7
Cobre	0.037	0.043	0.034	0.025	0.032	0.034	0.007	0.75	2	<1.0
Zinc	0.055	0.059	0.069	0.015	0.005	0.025	0.017	0.14	0.1-4	<5.0
Selenio	0.006	0.006	0.010	0.004	0.003	0.004	0.004	0.76	0.04	<0.01
Arsénico	0.18	0.97	0.38	3.38	1.49	0.76	0.61	0.14	0.01	<0.05

^x EEM = error estándar de la media.

^y Pr>F = nivel de significancia (probabilidad).

* NMA = niveles máximos aceptables en agua de bebida para humanos (WHO, 2011).

** NMA = niveles máximos aceptables en agua de bebida para ganado (Puls, 1988).

Los niveles de Ca, Mg, Na, Cu y Se en el agua de las unidades de producción se encontraron por debajo de los máximos tolerables en agua de bebida para ganado propuestos por Puls (1988), mientras que los niveles de K, P y As se excedieron. Además, el Na sobrepasó el máximo tolerable en agua cuando se usa el criterio para consumo humano (WHO, 2011).

Cuando se considera una oveja que consume 2 kg de alimento y 6 litros de agua diarios, el aporte de K y P por el agua de bebida a la dieta de los ovinos de Tepatitlán, Jalisco es inferior al 1 y 1.5 % de los requerimientos, lo cual coincide con los cálculos realizados por Shirley y Montesinos (1978) para P y ligeramente superior para el K (1.5 vs <1.0 %), considerando el contenido promedio del agua de bebida en los Estados Unidos. Por lo anterior, se considera que estos elementos no representan un problema para la salud de los ovinos.

Las concentraciones de As en el agua de bebida fueron muy variables entre las UP y dentro de UP. La concentración promedio de As en el agua fue 1.18 mg L^{-1} , lo cual es considerablemente superior al valor de 0.010 y 0.025 mg L^{-1} sugerido como máximo tolerable por la WHO (2011) y la Norma Oficial Mexicana (SSA, 2000), lo que puede deberse a que algunas muestras se tomaron directamente de la llave y otras del bebedero. Vuković *et al.* (2011) mencionan que los metales pesados de origen antropogénico introducidos al agua en forma de complejos inorgánicos o iones hidratados son fácilmente absorbidos por la superficie de las partículas de los sedimentos a través de enlaces químicos, lo que puede explicar parcialmente la variabilidad encontrada para este elemento en algunos estudios. Hurtado-Jiménez y Gardea-Torresdey (2006) encontraron que el 34% de 129 pozos en la región de los Altos de Jalisco contenían agua que excedió la norma mexicana, con un rango de As que osciló entre 0.015 y 0.102 mg L^{-1} . En particular, en muestras de agua del municipio de Tepatitlán, Jalisco, estos autores encontraron 0.0221 mg L^{-1} . Una de las razones de la variabilidad entre las concentraciones de As en el agua encontradas en este estudio y las encontradas por Hurtado-Jiménez y Gardea-Torresdey (2006), pueden ser los métodos de análisis empleados. Hurtado-Jiménez y Gardea-Torresdey (2006) utilizaron un Espectrómetro de Emisión Óptica de Plasma Acoplado por Inducción cuyo límite de detección es de 0.002 mg L^{-1} (Perkin Elmer, 2004), y en este estudio se empleó la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruros que posiblemente es el de mayor uso en el análisis de As en agua y maneja un límite de detección desde 0.0006 mg L^{-1} (US-EPA, 2002)

El exceso de As en el agua puede afectar el metabolismo del Se en los animales, dado que pueden formarse complejos selenio-glutatión-arsénico que limita la disponibilidad fisiológica del Se; estos complejos eventualmente se excretan vía bilis (Gailer, 2007). Con base en lo anterior y considerando una relación de reacción molar de 1:1 entre el As (absorción del 50%) y Se (absorción del 60%), se tiene que una oveja de 65 kg consumiendo el 3% de MS de su peso vivo y 6 L del agua en estudio (con promedio de 1.18 mg L^{-1} de

As) diariamente, requerirá de un consumo de 4.5 mg de Se para evitar que el As afecte su biodisponibilidad en el animal.

3.5.3 Concentración mineral en fuentes de alimentos para ovinos

La alimentación de los ovinos en estudio se basó principalmente en rastrojo de maíz (solo o con grano); además, en ocasiones y solo en algunas unidades de producción, se complementó con cantidades variables de concentrado, creep-feed, ensilado de maíz y fórmula comercial. Por estas razones, se optó por presentar la composición mineral obtenida de cada alimento (Cuadro 6), ya que es inadecuado realizar comparaciones entre las unidades de producción.

Cuadro 6. Medias y errores estándar de la concentración mineral (mg kg⁻¹ de MS) en los principales ingredientes y alimentos utilizados en la alimentación de ovinos en Tepatitlán, Jalisco.

Mineral	Tipo de alimento					
	Concentrado	Creep-feed	Ensilado de maíz	Fórmula comercial	Rastrojo de maíz	Rastrojo + grano
Calcio	8359±2150	4595±635	1335±455	13063±433	2769±631	6300±6088
Magnesio	1484±73	1380±25	1207±7.5	1438±145	1351±39.29	1510±340
Sodio	8021±49	5340±225	7445±1165	6140±522	7356±505	7293±136
Potasio	13446±1292	16993±773	17825±2490	14992±1627	21296±4542	18048±290
Fósforo	3576±1199	3621± 298	3516±1535	4514±364	3465±709	2530±1494
Cobre	18.3±2.4	11.1±4.18	12.15±1.25	16.4±2.1	12.65±1.61	11.87±0.41
Zinc	61.6±11.3	37.6±1.55	16.23±10.48	46.9±13.8	24.51±8.34	6.98±2.17
Selenio	1.26±0.26	0.6±0.05	0.74±0.43	1.46±0.52	0.78±0.13	0.47±0.18
Arsénico	0.10±0.03	0.28±0.02	0.36±0.08	0.24±0.08	0.48±0.16	0.20±0.06

En general, los alimentos tuvieron concentraciones adecuadas de minerales para ovinos, con algunas pocas excepciones. El concentrado y la fórmula comercial excedieron el nivel máximo tolerable de Cu para ovinos propuesto por el NRC (2005), mientras que el creep-feed presentó concentraciones apropiadas de los minerales estudiados. El ensilado de maíz tuvo bajas concentraciones de Ca y Zn en relación con los requerimientos de ovinos (NRC, 2007). El rastrojo de maíz presentó exceso de K (NRC, 2005) y baja concentración de Zn (NRC, 2007). La concentración deficiente de Zn también

se manifestó en el rastrojo con grano de maíz. Las cantidades de As presentes en los alimentos se encuentran dentro de las concentraciones señaladas por Anke *et al.* (1997) en forrajes, las cuales van de 0.1 a 1.0 mg kg⁻¹ de MS y en cereales de 0.05 a 0.40 mg kg⁻¹ de MS. Los alimentos e ingredientes de este estudio tuvieron concentraciones de As por debajo del nivel máximo tolerable sugerido por el NRC (30 mg kg⁻¹ de MS; NRC, 2005).

3.5.4 Concentración mineral en suero sanguíneo de ovinos

Las probabilidades de los efectos principales de grupo de edad, unidad de producción y de su interacción en las concentraciones séricas de los minerales estudiados en ovinos se presentan en el Cuadro 7. El grupo de edad afectó ($p \leq 0.05$) las concentraciones de Ca y Zn. La unidad de producción ocasionó concentraciones diferentes ($p \leq 0.05$) de Mg, K, P, Cu y Zn en el suero de los ovinos. Asimismo, la interacción grupo de edad x unidad de producción afectó ($p \leq 0.05$) las concentraciones de Ca, Mg y K.

Cuadro 7. Nivel de significancia ($Pr > F$) del contenido de minerales para grupo de edad de ovinos (GE), unidad de producción (UP) y su interacción (GE x UP).

Mineral	GE	UP	GE x UP
		Pr>F	
Calcio	0.04	0.25	0.030
Magnesio	0.66	0.03	0.004
Sodio	0.84	0.18	0.860
Potasio	0.67	0.01	0.030
Fósforo	0.31	<0.01	0.460
Cobre	0.67	<0.01	0.880
Zinc	<.01	<0.01	0.150
Selenio	0.06	0.35	0.190
Arsénico	0.41	0.35	0.720

Las crías tuvieron concentraciones mayores ($p \leq 0.05$) de Ca y Zn en suero sanguíneo que las hembras adultas (Cuadro 8), mientras que las concentraciones de Mg, Na, K, P, Cu, Se y As fueron similares ($p \geq 0.05$) en ambos grupos. La mejor concentración de Ca y Zn en las crías puede deberse a

que éstas consumían leche, la cual es rica en Ca (1.6% Ca en base seca; Borys *et al.*, 2006) y a que los animales jóvenes alimentados con leche tienen mayor capacidad para absorber Zn (ARC, 1980).

Cuadro 8. Concentraciones medias de minerales (mg L⁻¹) en suero sanguíneo de ovinos en función del grupo de edad.

Mineral	Grupo de edad ^Y			EEM ^X
	C	HA	NRA [†]	
Calcio	107 ^a	99 ^b	90 a 130	2.579
Magnesio	18 ^a	18 ^a	20 a 35	0.675
Sodio	1679 ^a	1648 ^a	3220 a 3611	76.78
Potasio	89 ^a	92 ^a	156 a 215	3.896
Fósforo	121 ^a	114 ^a	40 a 80	4.691
Cobre	0.57 ^a	0.56 ^a	0.8 a 2.0	0.017
Zinc	1.30 ^a	1.01 ^b	0.8 a 2.5	0.031
Selenio	0.09 ^a	0.096 ^a	0.08-0.5	0.002
Arsénico	1.54 ^a	1.83 ^a	0.01-0.08*	0.229

^Y Medias en la misma hilera, dentro de cada mineral, sin una letra en común son diferentes

($p \leq 0.05$); C = crías; HA = hembras adultas.

^X EEM = error estándar de la media.

[†] NRA = rangos de niveles recomendados como adecuados por Puls (1988).

* NRA de As es en sangre de ovinos (Puls, 1988)

En el presente estudio, tanto las crías como las hembras adultas presentaron niveles adecuados de Ca en el suero sanguíneo, probablemente porque los mecanismos homeostáticos del animal tienden a mantener las concentraciones séricas de este elemento (Suttle, 2010), a pesar de fluctuaciones en el contenido de Ca en los alimentos, como se observó en este estudio.

Las concentraciones de Mg en ambos grupos de ovinos estuvieron por debajo del nivel recomendado como adecuado por Puls (1988), lo cual se puede explicar por la baja concentración de Mg en los alimentos en relación con los requerimientos, particularmente de los animales de alta producción (NRC, 2007). La preñez también puede provocar bajas concentraciones de Mg en suero, por translocación de este elemento de la madre al feto (Yıldiz *et al.*, 2005) y por la hemodilución que usualmente ocurre hacia el final de la preñez (Elnageeb y Adelatif, 2010). Así mismo, las bajas concentraciones en las crías

pueden deberse a que su principal alimento fue leche, la cual es baja en Mg (0.1 a 0.2 g L⁻¹), y a que la absorción en el intestino grueso, según el ARC (1980) disminuye de 87% en la segunda y tercera semana a 32% en la séptima y octava semana.

En general, existen niveles deficientes de Na y K en el suero de crías y hembras adultas en relación con lo recomendado por Puls (1988), a pesar de que todos los alimentos tienen concentraciones adecuadas de estos minerales. Los bajos niveles de Na pueden atribuirse a la secreción de Na en el calostro y en la leche de la madre para su cría (Yıldız, *et al.*, 2005; Elnageeb y Adelatif, 2010). La preñez puede ser otra explicación de los niveles bajos de Na, ya que durante la gestación ocurre un decremento gradual en el nivel de Na, que puede estar relacionado con un incremento en la pérdida de éste en la orina, debido al aumento progresivo en el nivel de progesterona (Elnageeb y Adelatif, 2010). Las bajas concentraciones de K pueden ser resultado del estrés que sufrieron los animales al momento del muestreo, coincidiendo con las observaciones realizadas por Parker *et al.* (2003), donde muestran que mediante una simulación de estrés en toretes con una aplicación intravenosa de cortisol, provoca una reducción del K en plasma de aproximadamente 30%. Rang y Dale (1991) indican que el cortisol causa una pérdida de K, ya que altas concentraciones fisiológicas de cortisol pueden ocupar los receptores de mineralocorticoides, induciendo la actividad de los mismos, provocando un incremento de la filtración glomerular y promoviendo una diuresis. Además, se le puede sumar el efecto del clima, ya que en un clima caluroso durante el muestreo, puede provocar que los animales pierdan agua, Na y K mediante el sudor (Suttle, 2010).

Tanto crías como hembras adultas tuvieron exceso de P en el suero sanguíneo de acuerdo a los niveles recomendados por Puls (1988). Estos pueden relacionarse con las fuentes de alimentos a las que los ovinos tenían acceso, la cual era basaba principalmente en cereales, los cuales según Suttle (2010) son ricos en P. Otra razón del exceso sérico de P, puede ser la fragilidad de algunos

glóbulos rojos que vierten su alto contenido de P al suero (Solomon *et al.*, 1939; Loh *et al.*, 2010).

Las concentraciones séricas de Cu fueron deficientes (según el rango propuesto por Puls, 1988) en todos los ovinos estudiados, aún cuando las concentraciones de este elemento en los alimentos usados fueran adecuadas o altas. Cantidades altas de elementos como Fe, Mo, S y Zn pueden provocar alteraciones en el metabolismo del Cu y limitar sus concentraciones en el suero sanguíneo (NADIS, 2012). L'Abre y Fischer (1984) mencionan que en dietas con concentraciones altas en Zn provocan una reducción en la actividad de ceruloplasmina en sangre y en la concentración de superóxido dismutasa en el hígado y corazón; tal reducción es similar a la causada por deficiencia de Cu, lo que confirma el antagonismo entre Cu y Zn. Los niveles bajos de Cu en suero durante la lactación puede relacionarse con el rol menor del Cu en la síntesis de leche (Elnageeb y Adelatif, 2010). Las deficiencias de Cu provocan un retardo en el crecimiento, una acumulación de Fe en el hígado, un decremento de la síntesis de hemoglobina en un estado tardío, y una despigmentación al inicio de la deficiencia por causa de la baja actividad de la tirosina, lo que inhibe la conversión de tirosina a melanina en el pelo o folículo de la lana (Holstein *et al.*, 1979). Además, se puede producir una deficiencia de la actividad osteoblástica y osteoporosis en corderos recién nacidos de ovejas deficientes.

Los niveles de Zn y Se en suero sanguíneo de los animales de este estudio se encontraron dentro de los niveles recomendados como adecuados (Puls, 1988). Aún cuando el Zn es deficiente en los forrajes, los concentrados y alimentos suplementarios son adecuados y probablemente contribuyan a mantener un buen estado del Zn en el animal. Además, los primeros estudios realizados con Zn para animales en crecimiento, consideraron un requisito entre 7 y 9 mg kg⁻¹ de MS (ARC, 1980), lo cual es cubierto por todos los alimentos usados en estas UP. En el caso del Se, puede ser el resultado de las fuentes de alimento tanto para crías como para las hembras adultas, lo que concuerda con Suttle (2010),

que reportó que los cereales aportan del 55 al 65% de selenometionina, que es la forma en la que el selenio se presenta en el alimento.

El arsénico se encuentra por arriba del nivel recomendado como adecuado en sangre de ovinos (Puls, 1988). Este exceso se puede explicar por el alto contenido de As en el agua de bebida, ya que el NRC (1999) reportó una relación positiva entre niveles altos de As en agua de bebida y exceso de As en sangre de personas que consumen estas aguas; además de las cantidades adicionales aportadas por los alimentos.

Entre las unidades de producción hubo variabilidad en las concentraciones séricas de Mg, K, P, Cu y Zn en los ovinos (Cuadro 9). Esto se debe principalmente a que las concentraciones de macro y microminerales en el suero representan mecanismos homeostáticos que son estrechamente relacionados al estado nutricional y la regulación hormonal en el animal (NRC, 1980).

Cuadro 9. Concentraciones medias de minerales (mg L⁻¹) en suero sanguíneo de ovinos en función de la unidad de producción (UP).

Mineral	Unidad de producción ^Y						EEM ^X
	UP1	UP2	UP3	UP4	UP5	UP6	
Calcio	109 ^a	96 ^a	101 ^a	102 ^a	103 ^a	110 ^a	4.479
Magnesio	19 ^{ab}	21 ^a	17 ^{ab}	17 ^{ab}	19 ^{ab}	16 ^b	1.172
Sodio	1370 ^a	1565 ^a	1791 ^a	1731 ^a	1834 ^a	1651 ^a	133.3
Potasio	77 ^{ab}	90 ^{ab}	75 ^b	96 ^{ab}	102 ^{ab}	104 ^a	6.765
Fósforo	117 ^b	152 ^a	108 ^b	110 ^b	111 ^b	104 ^b	8.152
Cobre	0.40 ^b	0.46 ^b	0.65 ^a	0.64 ^a	0.63 ^a	0.62 ^a	0.029
Zinc	0.96 ^c	0.95 ^c	1.13 ^{bc}	1.43 ^a	1.15 ^{bc}	1.27 ^{ab}	0.053
Selenio	0.097 ^a	0.100 ^a	0.090 ^a	0.091 ^a	0.088 ^a	0.092 ^a	0.004
Arsénico	2.10 ^a	1.79 ^a	2.12 ^a	1.07 ^a	1.28 ^a	1.86 ^a	0.398

^Y Medias en la misma columna, dentro de unidad de producción, sin una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

^X EEM = error estándar de la media.

Las variaciones observadas entre unidades de producción también pueden deberse a la diferencia entre alimentos ofrecidos a los animales. Elnageeb y

Adelatif en el 2010, encontraron que tanto en ovejas suplementadas como sin suplementar, los niveles de K, P y Mg incrementaron conforme avanzó la preñez, en tanto que los niveles de Na, K, Ca, P, Mg, Cu y Zn incrementaron al parto, pero decrecieron gradualmente conforme se desarrollaba la lactación en ovejas suplementadas con concentrado. Conviene resaltar que las concentraciones de Cu en los ovinos de las UP1 y UP2 fueron considerablemente más deficientes ($p \leq 0.05$) que en el resto de las unidades de producción.

En este estudio también se presentaron efectos de interacción ($p \leq 0.05$) entre GE y UP para Ca, Mg y K. Para el Ca, el efecto de la interacción GE x UP ($p \leq 0.05$) consistió en que en las crías, las concentraciones de Ca fueron mayores que en las hembras adultas, en la mayoría de las unidades de producción; sin embargo, esto no se sucedió en las UP1 y UP4 (Figura 1).

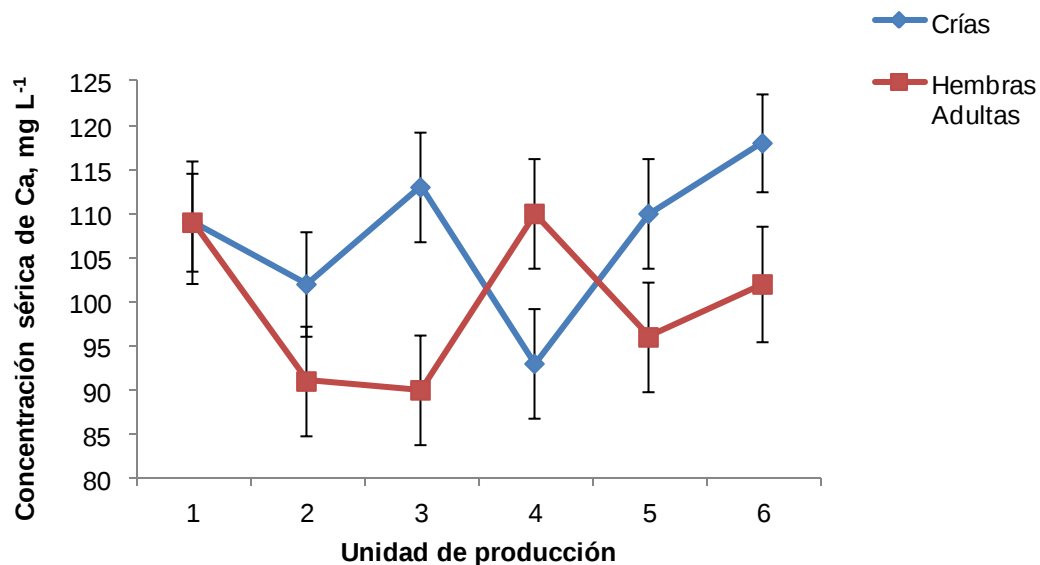


Figura 1. Efecto de la interacción de grupo de edad y unidad de producción sobre las concentraciones séricas de Ca en ovinos de Tepatitlán, Jalisco.

Lo anterior se atribuye a que las crías muestreadas en la UP1 y UP4 estaban recién destetadas, lo que concuerda con lo mencionado por Long *et al.* (1965) y Littledike y Goff (1987), en relación al aporte de Ca y Mg a través de la leche materna y su disminución en la concentración sanguínea conforme el animal

crece; en las hembras el efecto de la interacción es en forma contraria, dado que al destetar a sus crías evitan la secreción de estos elementos en la leche, por lo que tienden a acumularlos en su organismo para su propio aprovechamiento.

La interacción ($p \leq 0.05$) GE x UP en las concentraciones séricas de Mg se manifestó en que en las UP1, UP2, UP3 y UP6 las concentraciones de Mg fueron similares tanto en crías como en hembras adultas, mientras que en la UP4 las concentraciones de Mg en las crías estuvieron por debajo y en la UP5 por arriba de las concentraciones de Mg de las hembras adultas. Estas diferencias pueden deberse a la edad de las crías, dado que la capacidad de absorción disminuye al aumentar la edad (Long *et al.*, 1965; Littledike y Goff 1987), así como a diferencias en el consumo de leche, dado que esta es generalmente baja en Mg (Suttle, 2010; Zamberlin *et al.*, 2012). Otro factor pudo ser el tipo de alimento sólido que las crías consumieron al momento del muestreo.

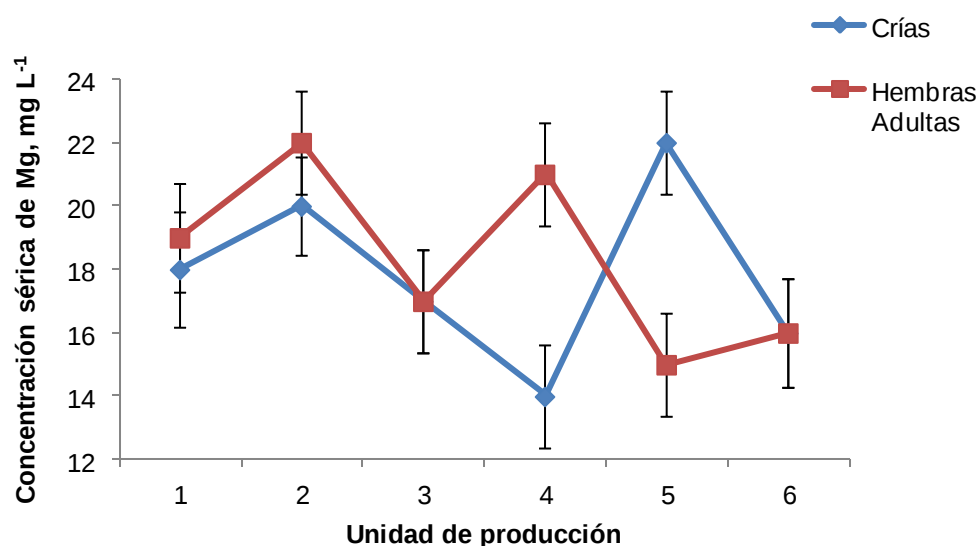


Figura 2. Efecto de la interacción de grupo de edad y unidad de producción sobre las concentraciones séricas de Mg en ovinos de Tepatitlán, Jalisco

El efecto de interacción ($p \leq 0.05$) de UP x GE sobre las concentraciones séricas de K en los ovinos se manifestó en que la mayoría de las unidades de

producción las concentraciones de K fueron similares en los animales, excepto en la UP2 donde las concentraciones de K fueron mayores en hembras adultas y en la UP4 fueron menores respecto a las concentraciones de K en las crías. Esta heterogeneidad entre crías y hembras adultas entre las unidades de producción puede deberse a los efectos de estrés sobre los niveles de K, a las cantidades en el alimento que recibieron y a las concentraciones de Na que interactúa con los niveles de K. Parker *et al.* (2003) indicaron que el manejo de ovinos puede ser un factor estresante, el cual puede provocar la liberación de cortisol, y a su vez inducir una diuresis, lo que resulta en una pérdida de electrolitos, entre ellos el K. (Suttle, 2010). Respecto a la interacción entre Na y K, Poole (1971) reportó que un nivel alto de K en el citoplasma es mantenido durante una infusión de Na, mediante la inhibición de la transferencia de K a la vacuola, sin embargo, esto no se cumple cuando existe una deficiencia de ambos elementos, como sucedió en el presente trabajo en suero sanguíneo.

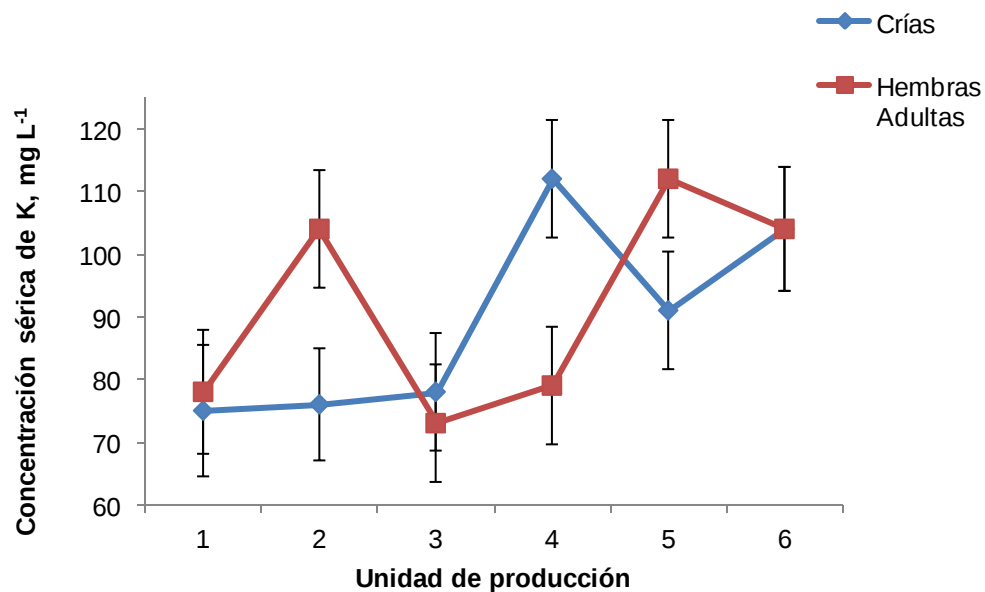


Figura 3. Efecto de la interacción de grupo de edad y unidad de producción sobre las concentraciones séricas de K en ovinos de Tepatitlán, Jalisco

Algunas funciones fisiológicas en los animales pueden ser afectadas por deficiencias o desbalances de minerales, repercutiendo en la salud y eficiencia productiva del animal, y también en la economía del sistema productivo, aún

cuando los signos clínicos no sean evidentes (Kincaid, 1999). El diagnóstico mineral se realiza principalmente para determinar la presencia o prevalencia de deficiencias, además para evaluar la eficiencia de una suplementación o la comparación de tipos de suplementación (Akinrinmade y Akinrinde, 2012). Los análisis del contenido mineral en suelo, agua y plantas a los que los animales son expuestos, son usados para confirmar el diagnóstico de deficiencias minerales en el animal (Soetan *et al.*, 2010).

Con base a lo anterior, es importante la realización de diagnósticos minerales en las unidades de producción animal, en este caso ovinas, tomando en cuenta tanto los animales como las fuentes de agua, suelo (donde se producen los alimentos) y cualquier alimento ofrecido a los animales; también es importante detectar signos clínicos o comportamientos en el animal que puedan ser asociados a deficiencias o desbalances minerales. Una vez detectados los problemas relacionados con minerales, así como sus posibles fuentes de origen, se debe de formular un programa de suplementación de los elementos deficientes que a su vez pueda contribuir a disminuir los efectos tóxicos de otros elementos en caso de que se presenten, todo lo anterior con base en los requerimientos de minerales para los ovinos.

3.6 Conclusiones

El suelo de la región estudiada fue deficiente en Ca, Mg y Se, y rico en Na, K, P, Cu y Zn. El agua de bebida presentó concentraciones inferiores de Ca, Mg, Na, Cu y Se; y concentraciones superiores de K, P y As, en relación a los niveles máximos tolerables de minerales en agua de bebida para ganado. En las fuentes de alimento, el concentrado y la fórmula comercial fueron altos en Cu; el ensilado de maíz tuvo deficiencia de Ca y Zn; el rastrojo de maíz presentó niveles altos de K y deficiencia de Zn; y el rastrojo con grano de maíz fue deficiente en Zn. Los ovinos de este estudio presentaron deficiencias de Mg, Na, K y Cu y exceso de P y As en suero sanguíneo. Los resultados sugieren suplementar a los ovinos los elementos deficientes, así como poner especial atención en la calidad y manejo del alimento y agua que se les ofrece.

3.7 Literatura citada

- Adane, Y., and A. Girma 2008. Economic significance of sheep and goats. *In*: Sheep and Goat Production Handbook for Ethiopia. ESGPIP (Ethiopia Sheep and Goats Productivity Improvement Program). Addis Ababa, Ethiopia. pp. 2-24.
- Akinrinmade, J. F., and A. S. Akinrinde. 2012. Hematological, serum biochemical and trace mineral indices of cattle with foreign body rumen impaction. *International Journal of Animal and Veterinary* 4(6): 344-350.
- Anke, M., M. Glei, W. Arnhold, C. Drobner, and M. Seifert. 1997. Arsenic. *In*: Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements. Marcel Dekker. New York. USA. pp. 631-639.
- ARC (Agricultural Research Council). 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal, UK. pp. 184–185.
- Borys, M., T. Pakulski, B. Borys, E. Pakulska, and E. Wegrzyn. 2006. The content and retention of some major and trace minerals in sheep's milk and cheese. *Archiv Tierzucht* 49: 263-267.
- Cary, E. E., G. A. Wieczorek, and W. H. Allaway. 1967. Reactions of selenite-selenium added to soils that produce low-selenium forages. *Soil Science Society of America Journal* 31: 21 (Abstract).
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno, and A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. 2da. Edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA). San Miguel de Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- Chesters, J. K., and J. R. Arthur. 1988. Early biochemical defects caused by dietary trace elements deficiencies. *Nutrition Research Reviews* 1: 39-56.
- Delgado-Andrade, M., M. Navarro, H. López, and M. C. López. 2003. Determination of total arsenic levels by hydride generation atomic absorption spectrometry in foods from south-east Spain: estimation of daily dietary intake. *Food Additives and Contaminants* 20(10): 923-932.
- Elnageeb, M. E., and A. M. Adelatif. 2010. The minerals profile in desert ewes (*Ovis aries*): effects of pregnancy, lactation and dietary supplementation. *American-Euroasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 7(1): 18-30.
- Fick, R. K., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, J. H. Conrad, and R. Valvidia. 1979. Métodos de Análisis Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. 2da. Edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358 p.
- Franson, M. A. H. 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Ediciones Díaz de Santos. S.A. Madrid España. 1816 p.

- Gailer, J. 2007. Arsenic-selenium and mercury-selenium bonds in biology. A Review. *Coordination Chemistry Reviews* 251: 234-254.
- Holstein, T. J., R. Q. Fung, W. C. Quevedo, and T. C. Bienieki. 1979. Effect of altered copper metabolism induced by mottled alleles and diet on mouse tyrosinase. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 162: 264–268.
- Hurtado-Jiménez, R., and J. L. Gardea-Torresdey. 2006. Arsenic in drinking water in the Los Altos de Jalisco region of Mexico. *Revista Panamericana de Salud Pública* 20(4): 236-247.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. Clave Geoestadística 14093. 9 p.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceeding of the American Society of Animal Science* pp: 1-13.
- L'Abbé, M. R., and P. W. Fischer F. 1984. The effects of high dietary zinc and copper deficiency on the activity of copper-requiring metalloenzymes in the growing rat. *The Journal of Nutrition* 114: 813-822.
- Littledike, E. T., and J. P. Goff. 1987. Interactions of calcium, phosphorus magnesium and vitamin D that influence their status in domestic meat animals. *Journal of Animal Science* 65: 1727–1743.
- Loh, T. P., S. Saw, and S. K. Sethi. 2010. Hyperphosphatemia in a 56-year-old man with hypochondrial pain. Clinical case study. *Clinical Chemistry* 56(6): 892–896.
- Long, C. H., D. E. Ullrey, E. R. Miller, B. H. Vincent, and C. L. Zutaut. 1965. Sheep hematology from birth to maturity. III. Serum calcium, phosphorus, magnesium, sodium and potassium. *Journal of Animal Science* 24: 145-150.
- NADIS (National Animal Disease Information Service). 2012. Trace Element Deficiencies in Sheep. Consultado 14 de junio de 2012 en: <http://www.nadis.org.uk/bulletins/trace-element-deficiencies-in-sheep.aspx>
- NRC (National Research Council). 1980. *Mineral Tolerance of Domestic Animals*. The National Academies Press. Washington, DC. USA. 586 p.
- NRC (National Research Council). 1999. *Arsenic in Drinking Water*. The National Academies Press. Washington, DC. USA. 330 p.
- NRC (National Research Council). 2005. *Mineral Tolerance of Animals*. 2nd Edition. The National Academies Press. Washington, DC. USA. 511 p.
- NRC (National Research Council). 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. The National Academic Press. Washington, DC. USA. 345 p.

- OECD-FAO (Organization for Economic Co-operation and Development and Food and Agriculture Organization). 2011. Agricultural Outlook. Consultado el 25 de mayo del 2012. www.agri-outlook.org
- Parker, A. J., G. P. Hamlin, C. J. Coleman, and L. A. Fitzpatrick. 2003. Dehydration in stressed ruminants may be the result of a cortisol-induced diuresis. *Journal of Animal Science* 81: 512-519.
- Perkin Elmer. 1996. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. Perkin Elmer Inc. United States of America. 300 p.
- Perkin Elmer. 2004. Guide to inorganic analysis from the leaders in AA, ICP-OES and ICP-MS. Perkin Elmer Inc. United States of America. 16 p.
- Poole, R. J. 1971. Effect of sodium on potassium fluxes at the cell membrane and vacuole membrane of red beet. *Plant Physiology* 47: 731-734.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Published by Sherpa International. Clearbrook, British Columbia, Canada. 154 p.
- Rang, H. P., and M. M. Dale. 1991. Pharmacology. 2nd Edition. Churchill Livingstone, London. 968 p.
- Rhue, R. D., and G. Kidder. 1983. Analytical procedures used by the IFAS extension soil laboratory and the interpretation of results. Soil Science. Department, University of Florida, Gainesville.
- SAS (Statistical Analysis System). 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Publishing, Cary, NC. 5180 p.
- Shirley, R. L., y J. L. Montesinos. 1978. El agua como fuente de minerales. In: L. R. McDowell y J. H. Conrad (Eds.). Simposio latinoamericano sobre investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo. Universidad de Florida, Gainesville, Florida. pp. 47-54.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. Avance de la Producción Pecuaria por Estado. SAGARPA, México. Consultado el 22 de mayo de 2012. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=465
- Soetan, K. O., C. O. Olaiya, and O. E. Oyewole. 2010. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of Food Science* 4(5): 200-222.
- Solomon, R. Z., P. M. Hald, and J. P. Peters. 1939. The state of the inorganic components of human red blood cells. *Journal of Biological Chemistry* 132: 723-138.
- SSA (Secretaría de Salud). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994: Modificación. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación.

- Suttle, N. F. 1991. The interactions between copper, molybdenum and sulphur in ruminant nutrition. *Annual Review of Nutrition* 11: 121–140.
- Suttle, N. F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4th Edition. CABI Publishing, UK. 595 p.
- Tamari, Y., S. Ohmori, and K. Hiraki. 1986. Fluorometry of nanogram amounts of selenium in biological samples. *Clinical Chemistry* 32: 1464-1467.
- Ullrey, D. J. 1974. The selenium deficiency pattern in animal agriculture. *In*: Hoekstra, W. G. and Ganther, H. E. *Proceedings of the Second International Symposium on Trace Elements in Man and Animals*, Wisconsin. University Park Press, Baltimore, Maryland. pp. 275–294.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd Edition. CABI Publishing Wallingford, UK. 614 p.
- UN-DESA (United Nations-Department of Economic and Social Affairs). 2010. Population Division. *World Population Prospects*. Consultado el 22 de mayo de 2012. <http://esa.un.org/unpd/wpp/unpp/p2k0data.asp>
- UN-DESA (United Nations-Department of Economic and Social Affairs). 2012. Population Division: *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*. New York. Consultado el 22 de mayo de 2012. http://esa.un.org/unpd/wup/Country-Profiles/country-profiles_1.htm.
- US-EPA (United States-Environmental Protection Agency). 2002. Drinking water regulations for arsenic and classifications to compliance and new source contaminants monitoring. *In*: *Implementation Guidance for Arsenic Rules*, Washington DC. 83 p.
- Vuković, Ž., M. Radenković, S. J. Stanković, and D. Vuković. 2011. Distribution and accumulation of heavy metals in the water and sediments of the River Sava. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 76(5): 795-803.
- Whitehead, D. C. 2000. *Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships*. CABI Publishing. UK. 384 p.
- Whiteman, P. C., L. R. Humphreys, and N. H. Monteith. 1974. *A Course Manual in Tropical Pastures Science*. A. A. U. C. S. Brisbandan, Australia. 371 p.
- WHO (World Health Organization). 2011. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th Edition. 541 p.
- Yildiz, A., E. Balikci, and F. Gurdogan. 2005. Serum mineral levels at pregnancy and postpartum in single and twin pregnant sheep. *Biological Trace Element Research* 107: 247-254.
- Zamberlin, Š. N., Antunac, J. Havranek, and D. Samaržija. 2012. Mineral elements in milk and dairy products. *Mljekarstvo* 62(2): 111-125.
- Zhang, X., R. Cornelis, J. De Kimpe, L. Mees, V. Vanderbiesen, and R. Vanholder. 1995. Determination of total arsenic in serum and packed cells of patients with renal insufficiency. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*. 353: 143-147.