



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DESARROLLO DE UNA MEZCLA MINERAL PARA LA
RECEPCIÓN DE OVINOS EN EL CORRAL DE ENGORDA

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

Saraí Aurelia Zamitiz Sánchez del Valle

Bajo la supervisión de:

Ph.D. Maximino Huerta Bravo



Junio de 2011

Chapingo, Estado de México



DIRECCION GENERAL ACADEMICA/
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES

DESARROLLO DE UNA MEZCLA MINERAL PARA LA RECEPCIÓN DE OVINOS EN EL CORRAL DE ENGORDA

Tesis realizada por **SARAÍ AURELIA ZAMITIZ SÁNCHEZ DEL VALLE** bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

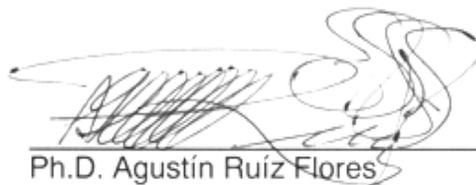
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph.D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Ph.D. Agustín Ruíz Flores

ASESOR:



Dr. Jorge Tórtora Pérez

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco:

A la Universidad Autónoma Chapingo por otorgarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y los servicios que en ella me facilitaron.

Al Posgrado en Producción Animal por haberme seleccionado para pertenecer a su grupo de estudiantes y formarme como Maestra en Ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología por el apoyo económico necesario para realizar mis estudios de posgrado.

A mi asesor Ph.D. Maximino Huerta Bravo por todas sus enseñanzas a lo largo de la maestría, por su paciencia y dedicación para la realización de esta tesis, por su apoyo incondicional, por fortalecer mi formación académica y por inculcarme amor a la ciencia y a la investigación, por todos sus consejos de vida.

Al Ph.D. Agustín Ruiz Flores por todo su apoyo y comprensión, por las observaciones e ideas para la realización de esta tesis.

Al Dr. Jorge Tórtora Pérez por su disposición e interés, por todas sus sugerencias y aportaciones para la realización de esta tesis.

Al Dr. Juan Manuel González Alvarado, al Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, Tlaxcala y a todos los que en el CDO colaboran, por haberme apoyado en la realización de la fase experimental, facilitando los animales y ayudando con recursos humanos y materiales.

Al Ph.D. Ricardo Amendola por sus enseñanzas, consejos y aliento durante mis estudios de maestría.

En especial agradezco a mi amiga Aleida Ayala por todo su apoyo y su gran ayuda en la fase de muestreo.

Al IAZ Antonio Quintero por su ayuda tan oportuna para el análisis de las muestras.

A mis compañeros de posgrado Oscar y Ursula por toda su ayuda en la fase experimental.

A Ismael Ponce por su ayuda incondicional y apoyo durante la escritura de la tesis.

A los alumnos del Ph.D. Agustín por toda su colaboración durante el experimento realizado en la Granja Experimental de la UACH.

A Karym y Lalo por su increíble apoyo en la Granja Experimental de la UACH.

No existen límites ni palabras para expresar mis agradecimientos a todas aquellas personas que contribuyeron con este trabajo, este trabajo no es solo mío, sino también de cada persona que contribuyo en el...MUCHAS GRACIAS!!

DEDICATORIA

“Porque de Él, y por Él, y para Él, son todas las cosas”... Rom. 13:36

“Señor, digno eres de recibir la gloria y la honra y el poder; porque tú creaste todas las cosas, y por tu voluntad existen y fueron creadas”... Ap. 4: 11

A Dios por que sin Él nada soy y nada puedo hacer, vivo cada día por su gracia y favor que tiene para mi vida y gracias a Él he podido lograr esta meta...

En especial dedico este trabajo a mi madre: María de los Ángeles por todo su amor y apoyo incondicional... mamá a ti te dedico estos versos:

“Llevo tu corazón conmigo, lo llevo en mi corazón. Nunca estoy sin él donde quiera que voy, vas tú amada mía y lo que sea que yo haga es tu obra. No temo al destino, ya que tú eres mi destino. No quiero ningún mundo, porque tú eres mi mundo, mi certeza. Y eso es lo que eres tú...Llevo tu corazón, lo llevo en mi corazón”. E. E Cummings

A mi papá Jesús Zamitiz y a mi tío Roberto por ser parte fundamental de mi vida y por apoyarme siempre...

A mis hermanos Gersón, David, Roberto y Daniel, por todo su amor, sus cuidados y sus oraciones...

A mi amiga Rebeca y a su familia por ser una parte especial de mi vida, por su aliento, por sus oraciones y su gran amistad...

A mis amigos Joel, Heber, Brenda y Aleida por su amor, lealtad, por compartir conmigo alegrías, tristezas, fracasos, logros, sueños, metas...

A mi Virgilio por ser mi amigo incondicional, por su amor, por compartir mis desvelos, mis angustias, mi ausencia...por estar siempre a mi lado

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Saraí Aurelia Zamitiz Sánchez del Valle
Fecha de nacimiento: 2 de septiembre de 1984
Lugar de nacimiento: México, D.F
CURP: ZASS840902MDFMNR09
Profesión: Médica Veterinaria Zootecnista
Cédula profesional: 5701455

Desarrollo académico:

Bachillerato: Escuela Nacional Preparatoria No.5 José Vasconcelos, Universidad Nacional Autónoma de México.

Licenciatura: Médica Veterinaria Zootecnista, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

Maestría: Maestra en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Situación de la ovinocultura en México.....	3
2.2 Importancia de los minerales en la producción animal	4
2.2.1 Métodos de suplementación mineral	5
2.3 Minerales en la nutrición ovina	6
2.3.1 Deficiencias minerales de los ovinos de México.....	7
2.3.2 Suplementación mineral de ovinos.....	9
2.4 Engorda de ovinos.....	10
2.5 Periodo de la recepción a la engorda	10
2.6 Estrés	12
2.6.1 Eventos que provocan estrés	12
2.6.2 Bioquímica del estrés	12
2.6.3 Indicadores hemáticos de estrés.....	13
2.6.4 Efectos negativos del estrés.....	13
2.7 Potasio.....	14
2.7.1 Fuentes de potasio	14
2.7.2 Funciones	14
2.7.3 Metabolismo	15
2.7.4 Requerimientos	16
2.7.5 Deficiencia	16
2.7.6 Toxicidad	17

2.7.7	El papel del potasio en el periodo de recepción	17
2.8	Inmunidad y estado mineral.....	18
2.8.1	Zinc y función inmune.....	19
2.8.2	Cobre y función inmune.....	21
2.8.3	Hierro y función inmune.....	22
2.8.4	Selenio y función inmune.....	23
2.9	Literatura citada	24
3	DESARROLLO DE UNA MEZCLA MINERAL PARA LA RECEPCIÓN DE OVINOS EN EL CORRAL DE ENGORDA. EXPERIMENTO EN HUAMANTLA28	
3.1	RESUMEN.....	28
3.2	Introducción	30
3.3	Materiales y Métodos.....	31
3.3.1	Variables de respuesta	34
3.3.2	Análisis estadístico	34
3.4	Resultados y Discusión	35
3.4.1	Estado mineral y su calificación en los corderos	35
3.4.2	Peso vivo y ganancia diaria de peso	41
3.5	Conclusiones	42
3.6	Literatura citada	42
4	DESARROLLO DE UNA MEZCLA MINERAL PARA LA RECEPCIÓN DE OVINOS EN EL CORRAL DE ENGORDA. EXPERIMENTO EN CHAPINGO..	44
4.1	Resumen	44
4.2	Abstract.....	45
4.3	Introducción	46
4.4	Materiales y Métodos.....	47
4.4.1	Variables de respuesta	50
4.4.2	Análisis estadístico	50
4.5	Resultados y Discusión	54
4.5.1	Estado mineral y su calificación en los corderos	54

4.5.2 . Peso, ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia.	59
4.5.3 Títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de <i>Mannheimia haemolytica</i>	62
4.6 Conclusiones	64
4.7 Literatura citada	65

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Signos clínicos de las deficiencias de minerales en rumiantes	5
Cuadro 2. Niveles máximos tolerables de minerales en la dieta de ovinos.	7
Cuadro 3. Requerimientos de minerales para corderos en crecimiento.	8
Cuadro 4. Dietas experimentales de recepción suministradas a corderos en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla	32
Cuadro 5. Dietas de finalización suministradas a corderos en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla	33
Cuadro 6. Estado mineral inicial y su calificación, en los corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla.....	35
Cuadro 7. Estado mineral final y su calificación en los corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, que recibieron suplementación mineral con 100 % de MT y 0% de K.....	36
Cuadro 8. Estado mineral final y calificación, de los corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, que recibieron suplementación mineral con 200 % de MT y 0.7% de K.....	37
Cuadro 9. Concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, en los diferentes tratamientos del experimento y nivel de significancia (p) de las diferencias.....	38
Cuadro 10. Concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, en las diferentes etapas del experimento y nivel de significancia (p) de las diferencias.	39
Cuadro 11. Dieta experimental suministrada a corderos en la Granja Experimental de la UACH.....	49
Cuadro 12. Estado mineral inicial y su calificación, en los corderos engordados la Granja Experimental de la UACH	55
Cuadro 13. Probabilidad del nivel de K, MT y día sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de corderos	56
Cuadro 14. Concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH, en las diferentes etapas del experimento y nivel de significancia (p) de las diferencias	57

Cuadro 15. Efecto del nivel de la mezcla mineral sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH y nivel de significancia de las diferencias.....	57
Cuadro 16. Efecto del nivel de potasio sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH y nivel de significancia (p) de las diferencias.....	58
Cuadro 17. Estado mineral final y su calificación, de los corderos engordados la Granja Experimental de la UACH.....	59
Cuadro 18. Probabilidad del nivel de K, MT y día sobre el peso final, GDP promedio por periodo, GDP del periodo 0-60, CMS, CMS/PM y CA.....	59
Cuadro 19. Comportamiento productivo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH, en las diferentes etapas del experimento y nivel de significancia (p) de las diferencias.....	60
Cuadro 20. Efecto del nivel de potasio sobre el comportamiento productivo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH y nivel de significancia (p) de las diferencias.....	61
Cuadro 21. Efecto del nivel de mezcla mineral sobre el comportamiento productivo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH y nivel de significancia (p) de las diferencias.....	62
Cuadro 22. Probabilidad del nivel de K, MT y día sobre los títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de <i>Mannheimia haemolytica</i> medidos en los ovinos del experimento.....	62
Cuadro 23. Efecto del nivel de potasio, minerales traza y tiempo sobre la cantidad de anticuerpos contra el antígeno A1 de <i>Mannheimia haemolytica</i> . ..	63
Cuadro 24. Efecto del nivel de potasio, minerales traza y tiempo sobre la cantidad de anticuerpos contra el antígeno A2 de <i>Mannheimia haemolytica</i> . ..	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentración sérica de cobre mgL^{-1} en los dos tratamientos, durante los 60 días del experimento.	40
Figura 2. Ganancia diaria de peso de corderos cruzados suplementados del día 0 al 25 y del día 25 al 60 del ensayo.....	41
Figura 3. Efecto de la interacción de MT y día sobre la concentración sérica de cobre mgL^{-1}	56

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Las condiciones en que se realiza la crianza de ovinos en México generalmente están basadas en el pastoreo extensivo, de especies nativas y subproductos agrícolas (Orcasberro *et al.*, 1982), donde la principal limitante es la cantidad de forraje; esta situación favorece la incidencia de carencias nutricionales, en particular de minerales. Diversas regiones de México presentan insuficiencias naturales de algunos minerales (Huerta, 1997), problemas que se agravan porque algunos ovinocultores no proporcionan sales minerales; mientras que otros usan suplementación mineral incorrecta.

Los animales que llegan al corral de engorda pueden tener deficiencias minerales de origen, situación que puede complicarse considerando que en la engorda intensiva las dietas son a base de cereales, deficientes en varios minerales como calcio, sodio, potasio, cobre, zinc y cobalto (NRC, 2007).

Hutcheson y Cole (1986) sugieren que en el periodo de recepción deben considerarse varios factores como: el consumo de alimento, la deshidratación, la nutrición mineral y el estrés al que fue sometido el animal, para lograr una adecuada adaptación y disminuir las pérdidas económicas por enfermedades y muertes.

El impacto del transporte y manejo en la salud de los animales que recién llegan al corral de engorda puede contrarrestarse con la utilización de electrolitos (Schaefer *et al.*, 1997). En algunos experimentos se ha documentado que la utilización de K a niveles de 1.27 a 1.41% en becerros, mejora la ganancia de peso y ayuda a mantener correctamente el equilibrio ácido – base (Hutcheson *et al.*, 1984).

En el NRC (2000) para bovinos de carne, se recomienda el uso de concentraciones de minerales dos a tres veces mayores a las habituales para utilizarse en el periodo de recepción del ganado bovino.

Un beneficio de los minerales traza es que promueven el desarrollo del sistema inmune en animales en crecimiento (Cunningham-Rundles *et al.*, 2005). La secreción de anticuerpos tras la vacunación en los animales jóvenes puede verse perturbada por deficiencias maternas de zinc, hierro, cobre, selenio y magnesio (Miller, 1985). La dosis de minerales traza necesarias para promover una adecuada función del sistema inmune, pueden llegar a ser mayores a las habituales, en especial en animales con deficiencias minerales.

Actualmente, no hay en el mercado una formulación mineral para la recepción de corderos que entran a la engorda en corral, por ello el objetivo de este trabajo fue formular, elaborar y evaluar un suplemento mineral para la recepción de ovinos en engorda intensiva.

En el Capítulo 2 se presenta una revisión de la producción ovina en México, la importancia de los minerales, los aspectos más elementales de la nutrición mineral de los ovinos, la utilización del potasio en las dietas de engorda intensiva y las funciones de los minerales en la inmunidad. Mientras que, en el Capítulo 3 se presenta un artículo donde se evaluó el suministro de una mezcla mineral que contiene el doble del requisito de minerales traza y 0.7% de K suplementario y su comparación con una mezcla mineral testigo. De la misma forma, en el Capítulo 4 se aborda un artículo similar al anterior con un diseño de bloques completamente al azar y 4 tratamientos con dos niveles de K y dos niveles de minerales traza.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación de la ovinocultura en México

La especie ovina (*Ovis aries*) se origina del *Ovis musimon* y *Ovis muflon*, así como del *Ovis vignei*. A partir de su domesticación se ha destacado como una especie importante en la producción animal, ya que provee una gran variedad de satisfactores como: carne, lana, leche y piel (Díaz, 1955).

México cuenta con un inventario de 7, 757, 267 cabezas de ganado ovino, los estados con mayor población ovina son Hidalgo con 1, 484, 488 cabezas, Estado de México con 1, 005, 466 cabezas, Oaxaca con 565,112 cabezas y Veracruz con 462, 902 cabezas (SIAP, 2009).

El 52% del inventario ovino se localiza en la región central del país, con gran parte de razas productoras de carne: Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset; 23% del inventario en la zona Sur con ganado de pelo (cruzas de Pelibuey, Black Belly, Katahdin y Dorper); en la región Occidente alrededor de 14% con rebaños de razas de pelo cruzadas con lanadas, y el 11% restante se encuentra en la región Norte, donde existen básicamente animales Rambouillet y cruzas con razas de pelo (Arteaga, 2007).

La producción de carne de ovino en México en 2009 fue 53, 462 toneladas (SIAP, 2009); el consumo nacional aparente para 2005 de carne de ovino fue 85, 962 toneladas, siendo el consumo per cápita de 850 g; se estima que 46.2% de la carne que se consume es importada (SAGARPA, 2005).

Cuellar (2003) indica que en la actualidad es factible vislumbrar dos tipos de productores de ovinos en México: por un lado, el pequeño, con un reducido

número de cabezas de ovinos, lo que constituye la ovinocultura social; por otro lado, está la ovinocultura empresarial de vanguardia, dedicados a la producción de animales para el abasto y para pie de cría de buena calidad genética, con grandes rebaños y donde se pretende una utilidad financiera sobre la inversión.

La actividad ovina en México ha sufrido una serie de transformaciones, ha dejado de ser en muchas regiones una actividad secundaria para convertirse en la actividad principal; sus expectativas en los próximos años son reconfortantes. Se considera que ésta continuará creciendo en la medida que se muestre mayor capacidad y eficiencia (Arteaga, 2007).

2.2 Importancia de los minerales en la producción animal

Los minerales son de gran importancia en la nutrición animal. McDowell y Arthington (2005) señalan que los elementos minerales son nutrimentos esenciales para todos los animales e influyen en la eficiencia productiva del ganado.

Los minerales existen en las células y tejidos del organismo animal en diversas combinaciones funcionales y químicas con concentraciones características dependientes del elemento y tejido (Underwood y Suttle, 2003). Las primeras investigaciones sobre minerales fueron realizadas a finales del siglo XIX y principios del XX, en las que se destaca la importancia de los minerales esenciales como el Ca, P, K, Na, Cl, Mg y S (Ammerman y Goodrich, 1983).

Los minerales se clasifican en macroelementos y microelementos de acuerdo con la cantidad en la que se encuentran en el organismo del animal. Huerta (1997) menciona que la importancia de los minerales radica en que son necesarios para transformar la proteína y energía de los alimentos en componentes del organismo. Del mismo modo, Underwood y Suttle (2003) destacan el papel que juegan los minerales para mantener la integridad y función adecuada del organismo de los animales, así como asegurar un apropiado estado de salud y nivel productivo.

Aproximadamente 5% del peso de un animal está constituido por minerales; se considera que alrededor de 30 elementos son requeridos por al menos una especie (McDowell y Arthington, 2005).

En varias regiones del mundo se conoce que un gran número de animales consumen raciones inadecuadas de minerales (McDowell y Arthington, 2005). Algunos de los trastornos causados por las deficiencias minerales se muestran en el Cuadro 1. Los desórdenes nutritivos ocasionados por la inadecuada suplementación mineral derivan en enfermedades agudas y severas, caracterizadas por signos clínicos bien definidos, que suelen expresarse en crecimiento, fertilidad y producción insatisfactorias (Underwood y Suttle, 2003).

Cuadro 1. Signos clínicos de las deficiencias de minerales en rumiantes

Deformaciones óseas	Anemia	Reproductivos	Piel y pelo	Pica	Nerviosos
Calcio	Hierro	Fósforo	Cobre	Fósforo	Magnesio
Fósforo	Zinc	Zinc	Zinc	Cobalto	Potasio
Manganeso	Cobre	Manganeso	Cobalto	Sodio	Calcio
Magnesio	Cobalto	Cobre	Fósforo	Cobre	Cobre
Cobre	Selenio	Yodo	Potasio	Calcio	Manganeso
		Selenio	Sodio		
		Cobalto	Yodo		

Fuente: Huerta, 1997.

De acuerdo con Ammerman y Goodrich (1983), los factores que influyen en la incidencia de deficiencias y toxicidades minerales en áreas específicas son: el tipo de suelo, fuente de agua, tipo de plantas y el clima.

2.2.1 Métodos de suplementación mineral

Los métodos indirectos de suministrar minerales a los ovinos, son utilizados principalmente en animales en pastoreo, e incluyen el uso de fertilizantes, alteración del pH del suelo y la promoción del crecimiento de ciertas especies forrajeras. Se pueden utilizar las variaciones en el contenido mineral de diferentes especies de plantas que crecen en un mismo suelo para promover o inhibir la disponibilidad de minerales específicos para el ganado en pastoreo

(McDowell y Arthington, 2005). Los métodos directos para controlar las insuficiencias de minerales, incluyen el suministro de minerales en el agua, en bloques minerales, mezclas e inyecciones (Underwood y Suttle, 2003).

2.3 Minerales en la nutrición ovina

Se ha reconocido que los pequeños rumiantes requieren de 14 minerales esenciales para funciones productivas, reproductivas e inmunológicas, adecuadas. Entre los macrominerales que se requieren se incluyen: calcio, fósforo, sodio, cloro, potasio, magnesio y azufre, los microminerales necesarios son cobre, zinc, hierro, yodo, manganeso, cobalto y selenio; otros elementos como aluminio, vanadio y níquel, que pueden llegar a ser requeridos por cierto tipo de animales y en circunstancias especiales (NRC, 2007).

Las fuentes de minerales para la nutrición de los ovinos son esencialmente los alimentos, el agua puede llegar a aportar cantidades significativas de algunos elementos como yodo, manganeso, sodio, cloro, hierro, azufre y magnesio. La concentración mineral de los alimentos es muy variable, por ejemplo los forrajes pueden ser una fuente rica de potasio y hierro, siendo pobre su contenido de sodio, los cereales son generalmente una fuente rica de fósforo y tienen contenido pobre de calcio y sodio. La concentración de los minerales en semillas y forrajes dependen de factores como; la variedad, el tipo de suelo en el que crecen, el clima o las condiciones de la estación del año durante el crecimiento y el estado de madurez de la planta (Underwood y Suttle, 2003).

Los niveles máximos tolerables de minerales para ovinos se presentan en el Cuadro 2. El NRC (2005) define el nivel máximo tolerable como aquel que cuando es suministrado como alimento en un período limitado, no causa perjuicios en la producción del animal y no debe dejar residuos inseguros en los alimentos para el hombre. Los requerimientos nutricionales minerales sugeridos para los corderos en crecimiento por el NRC (2007) se presentan en el Cuadro 3. Los requerimientos minerales dependen de: la raza, edad y adaptación del

animal; del tipo y nivel de producción; el nivel y forma química de los elementos en los ingredientes alimenticios, y el consumo suplementario del mineral (McDowell, 2005).

Cuadro 2. Niveles máximos tolerables de minerales en la dieta de ovinos.

Elemento	Concentración en la dieta	Elemento	Concentración en la dieta
Aluminio, mg kg ⁻¹	1000	Magnesio, mg kg ⁻¹	0.6
Arsénico, mg kg ⁻¹	30	Manganeso, mg kg ⁻¹	2000
Boro, mg kg ⁻¹	150	Mercurio, mg kg ⁻¹	2
Bromo, mg kg ⁻¹	200	Molibdeno, mg kg ⁻¹	5
Cadmio, mg kg ⁻¹	10	Níquel, mg kg ⁻¹	100
Zinc, mg kg ⁻¹	300	Selenio, mg kg ⁻¹	5
Cobalto, mg kg ⁻¹	25	Potasio, %	2
Cobre, mg kg ⁻¹	15	Cloruro de sodio, %	4
			0.30 dietas altas en concentrados
Flúor, mg kg ⁻¹	60	Azufre, %	0.50 dietas altas en forrajes
Yodo, mg kg ⁻¹	50		
Fierro, mg kg ⁻¹	500	Calcio, %	1.5
Litio, mg kg ⁻¹	25	Fósforo, %	0.6
Silicio, %	0.2		

Fuente: NRC, 2005

2.3.1 Deficiencias minerales de los ovinos de México

La producción ovina en México mayoritariamente se basa en el pastoreo extensivo, donde la principal limitante es la cantidad de forraje disponible, esta situación favorece la incidencia de deficiencias nutricionales. Además; Huerta (1997) indica que diversas regiones de México presentan deficiencias naturales de minerales. Las insuficiencias minerales se pueden agravar porque algunos ovinocultores no proporcionan sales minerales; mientras que otros usan suplementación mineral incorrecta. Huerta (2008) señala que un problema con el uso de las premezclas minerales comerciales es que son de uso general para todas las regiones geográficas y para cualquier tipo de ganado, y además en muchas ocasiones el contenido mineral indicado en la etiqueta no coincide cuando la premezcla es evaluada en el laboratorio, lo cual hace que el uso de premezclas minerales comerciales no sea muy efectivo.

Cuadro 3. Requerimientos de minerales para corderos en crecimiento.

Peso corporal	Ganancia diaria de peso g/d	Consumo de materia seca kg	Gramos diarios					Miligramos diarios						
			Na	Cl	K	Mg	S	Co	Cu	I	Fe	Mn	Se	Zn
20	100	0.63	0.40	0.30	2.90	0.60	1.10	0.13	3.10	0.30	32	12	0.09	13
	150	0.74	0.40	0.30	3.30	0.70	1.30	0.15	4.00	0.40	46	15	0.13	17
	200	0.82	0.50	0.40	3.60	0.80	1.50	0.16	4.90	0.40	61	18	0.18	21
	300	1.09	0.60	0.50	4.60	1.10	2.00	0.22	6.60	0.50	90	24	0.26	29
30	200	1.1	0.60	0.50	4.80	1.00	2.00	0.22	5.50	0.50	62	21	0.18	24
	250	1.05	0.70	0.50	4.80	1.10	1.90	0.21	6.40	0.50	77	24	0.22	28
	300	1.22	0.70	0.60	5.40	1.30	2.20	0.24	7.30	0.60	91	27	0.26	32
	400	1.55	0.80	0.70	6.50	1.50	2.80	0.31	9.10	0.80	120	33	0.35	40
40	250	1.44	0.80	0.60	6.30	1.30	2.60	0.29	7.10	0.70	78	26	0.23	45
	300	1.54	0.80	0.70	6.70	1.40	2.80	0.31	8.00	0.80	92	29	0.27	51
	400	1.62	1.00	0.70	7.20	1.70	2.90	0.32	9.70	0.80	121	36	0.35	63
	500	1.96	1.10	0.80	8.30	1.90	3.50	0.39	11.50	1.00	150	42	0.43	75
50	250	1.51	0.90	0.70	7.00	1.50	2.70	0.30	7.80	0.80	79	29	0.23	49
	300	1.73	1.00	0.70	7.70	1.60	3.10	0.35	8.60	0.90	94	32	0.27	55
	400	1.75	1.10	0.80	8.00	1.80	3.20	0.35	10.40	0.90	123	38	0.35	67
	500	2.03	1.20	0.90	9.00	2.10	3.70	0.41	12.20	1.00	152	45	0.44	79

Fuente: NRC, 2007.

En estudios realizados en condiciones tropicales de México se menciona que las concentraciones de cobre y sodio en el suelo, forraje y plasma sanguíneo se encuentran por abajo de los niveles críticos (Martínez, 2006).

En Toluca, México (Domínguez y Huerta, 2008) identificaron desequilibrios minerales en seis unidades de producción ovina. Estos autores evaluaron suelo, forraje, agua y sangre de corderos y ovejas, y encontraron que los suelos son deficientes, en P, Zn y Cu; los forrajes fueron deficientes en Mg, Zn y Cu, y el suero fue bajo en Cu y alto en P y Fe. La carencia de Cu en ovinos, en el forraje y en el suelo fue grave y estuvo asociada con exceso de Fe en suelo y forraje.

Rosas (1999) realizó un estudio de diagnóstico mineral en una explotación ovina localizada en San Juan Teotihuacán, México. Encontró que los forrajes tuvieron cantidades deficientes de Cu y excesivas de P, K, Fe y Mn. Las concentraciones de Ca, Na y Mg en el suero sanguíneo de las ovejas fueron deficientes.

2.3.2 Suplementación mineral de ovinos

En diferentes regiones del mundo hay reportes que datan del inicio del siglo pasado que han revelado los efectos benéficos de la suplementación mineral. McDowell y Arthington (2005) señalan mejoras en el funcionamiento reproductivo, en ganancia de peso, incremento significativo en el porcentaje de destete y la corrección de enfermedades como: periodontitis, “secadera” y síndrome parapléjico bovino.

Durán y López (2007) evaluaron la ganancia de peso en ovinos en crecimiento suplementados con cobre, en este estudio se corrigieron los signos clínicos que presentaban en el comienzo los ovinos, con la suplementación de 20 ppm de sulfato de cobre pentahidratado al 1%, además se mejoró la concentración sérica de cobre, aumentando en un 57% y 97% en machos y hembras, respectivamente, entre el inicio y el final del ensayo. En un estudio realizado por

Dean *et al.* (1997) se midió el efecto de la suplementación mineral con calcio, fósforo, magnesio, cobre, hierro y zinc en el desarrollo corporal de corderos mestizos, en este ensayo concluyen que la suplementación mineral mejora en 60% la tasa de ganancia de peso y 50% las medidas zoométricas de los ovinos.

2.4 Engorda de ovinos

La tasa de crecimiento anual de la producción de carne ovina en México se incrementó de 1.06% en el quinquenio 1981-1986 a 5.7% en el quinquenio 2001-2006. En el 2009 se produjeron 53, 462 ton de carne ovina, las importaciones disminuyeron de 60% a 41.6% en el último periodo (SIAP, 2009).

La producción ovina ha pasado de ser una actividad de ahorro familiar, o de autoconsumo, a una actividad rentable, en la cual tanto la producción con pequeños rebaños de 20 a 30 borregas, como la producción empresarial con rebaños que van de cientos a miles de ovejas han mejorado la productividad tradicional (Arteaga, 2007).

La engorda intensiva de corderos en México ha aumentado y se abastece de animales de dos maneras, la primera es consiguiéndolos en explotaciones de ciclo completo y la segunda se basa en la recolección de corderos de diferentes rebaños. Huerta (2007) señala que un sistema intensivo de engorda de corderos exitoso requiere un suministro constante de corderos con el potencial genético apropiado, mercado que adquiera el producto a buen precio, estrategias de alimentación que maximicen las utilidades de la engorda, prácticas de manejo preventivo que minimicen la incidencia de enfermedades y estrés de los animales e instalaciones apropiadas.

2.5 Periodo de la recepción a la engorda

En México los animales que son recibidos en los corrales de engorda, son procedentes en su mayoría de sistemas extensivos, en donde la limitada cantidad de forraje de la que disponen, puede predisponerlos a insuficiencias nutricionales, las cuales se pueden agravar en el periodo de recepción. La

recepción es la etapa en que los animales deberán adaptarse a su nuevo entorno, este periodo debe considerar factores como el consumo de alimento, la nutrición mineral y el estrés al que fue sometido el animal debido al transporte y manejo (Ricalde *et al.*, 1998).

El transporte de los animales y los sucesos asociados a éste como el ayuno, el manejo de la carga y descarga provocan cambios fisiológicos en el animal; Schaefer *et al.* (1997) sugieren que hay tres razones primarias por las cuales el estrés en el transporte y manejo de los animales deberá minimizarse, la primera es que el estrés reduce el peso vivo, la segunda es el efecto sobre la calidad de la carne y la tercera es la consecuencia económica que tienen las dos primeras sobre la ganancia final para el productor.

El estrés por el que pasa el animal ocasiona aumento en el nivel de cortisol circulante, el cual provoca leucocitosis y neutrofilia que a larga pueden comprometer el sistema inmune del animal (Schaefer *et al.*, 1997). Hutcheson y Cole (1986) describen que los cambios a los que se ve expuesto el animal alteran sus requerimientos nutricionales; la interrelación nutrición, ambiente y estrés se deben considerar para seleccionar las prácticas más adecuadas de manejo.

La deshidratación provocada por la privación de agua ocasiona cambios significativos en el balance de electrolitos, por ello una vez que los animales llegan al corral de engorda después de ser transportados deben ser hidratados. Schaefer *et al.*, (1997) consideran que el uso de electrolitos en la recepción de animales es necesario para disminuir los efectos negativos del transporte y el manejo.

Ricalde *et al.*, (1998) propusieron que durante la recepción deberán ofrecerse alimentos con fibras altamente digestibles, así como evitar el uso de granos de fermentación rápida como el trigo o la cebada. En las tablas del NRC (2000) para bovinos de carne se recomienda el uso de concentraciones de minerales

dos a tres veces mayores a las normales para utilizarse en el periodo de recepción del ganado a finalizar en corral de engorda.

2.6 Estrés

El estrés se define como un mecanismo de defensa caracterizado por un esfuerzo de adaptación, cuando el animal es expuesto a estímulos adversos (Coppo, 2007).

En 1936, Hans Selye planteó el concepto de Síndrome General de Adaptación para definir la reacción inespecífica que el organismo opone a estímulos absolutamente diferentes (térmicos, tóxicos, infecciosos, traumáticos), en tres etapas a las que denominó fases de alarma (aún sin adaptación), de resistencia (adaptación lograda) y de agotamiento (pérdida de la adaptación y ruptura del estado de salud) (Coppo, 2007).

2.6.1 Eventos que provocan estrés

La exposición de los animales a una variedad de factores ambientales como vacunación, desparasitación, transportación, ayuno, restricción de movimiento en una manga de manejo, aislamiento, destete, cambio de jaula o corral, procedimientos quirúrgicos, pueden ocasionar estrés ya sea psicológico o físico que provocará cambios fisiológicos en el animal, que pueden derivar en una adaptación al nuevo acontecimiento o por lo contrario en enfermedad (Coppo, 2007).

2.6.2 Bioquímica del estrés

El estrés activa a la amígdala, estructura cerebral que es parte del sistema límbico, la respuesta neuronal que origina la amígdala estimula una reacción hormonal a nivel del hipotálamo, liberando el factor de liberación de corticotropina (CRF), que estimula a la hipófisis, lo que ocasiona que la hormona ACTH (hormona adrenocorticotrópica) se libere al torrente sanguíneo (Ganong, 1996).

La ACTH estimula a las glándulas adrenales, las cuales están ubicadas sobre el borde superior de los riñones, estas glándulas secretan en su zona interna o medula adrenal las catecolaminas: adrenalina y la noradrenalina. La capa externa o corteza adrenal de las glándulas secreta hormonas mineralocorticoideas (aldosterona) y glucocorticoideas (cortisol). Normalmente estos corticoides retroalimentan negativamente a la ACTH a nivel hipotalámico e hipofisario, pero durante el estrés, en el intento de adaptar al organismo para resistir al estímulo negativo, las secreciones de ACTH y glucocorticoides serán sostenidas y prolongadas (Ganong, 1996; Coppo, 2007).

2.6.3 Indicadores hemáticos de estrés

Durante el estrés hay elevación de los niveles sanguíneos de cortisol, aldosterona, glucagón y colesterol, así como disminución de la secreción de la hormona estimuladora de la tiroides (TSH), de la hormona del crecimiento (STH) y de las gonadotropinas (FSH, LH). También hay variación en el metabolismo lipídico y proteico, desbalances hidro-electrolíticos y hormonales, activación de la eritropoyesis, alteraciones hepáticas, musculares, óseas e inmunitarias, con involución linfoide (Tizard, 2002; Coppo, 2007). El hemograma de un animal estresado se caracteriza por una disminución de linfocitos y eosinófilos, generalmente acompañado del aumento de leucocitos totales y neutrófilos (Coppo, 2007).

2.6.4 Efectos negativos del estrés

Uno de los efectos negativos del estrés es la supresión del sistema inmune, la liberación de la ACTH reduce la proliferación de linfocitos, la producción de la interleucina- 2 (IL-2) y la producción de anticuerpos. La causa de que haya una disminución en la producción de anticuerpos es que el estrés afecta la acción de las citocinas, las cuales son los agentes responsables de la comunicación intercelular, inducen la activación de receptores específicos de membrana, funciones de proliferación y diferenciación celular, quimiotaxis, crecimiento y modulación de la secreción de inmunoglobulinas (Tizard, 2002).

2.7 Potasio

En 1875 sir Humphrey Davy identificó el elemento potasio en los residuos de madera incinerada y le dio el nombre de “mota de ceniza” (Underwood y Suttle, 2003). Posteriormente fue reconocido como un mineral esencial en experimentos realizados en corazones de ranas a finales del siglo XIX (Ammerman y Goodrich, 1983). El potasio es necesario para varias funciones del organismo animal como el balance osmótico, participa en varios sistemas enzimáticos, y es indispensable en el equilibrio hídrico y el balance acido-base (Mc Dowell y Arthington, 2005).

2.7.1 Fuentes de potasio

Las concentraciones del potasio en el forraje dependen del equilibrio de potasio en el suelo, de la especie vegetal y su estado de madurez, y del modo en que se maneje la pradera (Underwood y Suttle, 2003).

Los forrajes muestran cierta variabilidad en la concentración de potasio, los pastos maduros de invierno, así como henos que han sido expuestos a la lluvia y el sol poseen bajas concentraciones de potasio; por el contrario se ha visto que en primavera los pastos contienen alta concentración de dicho elemento (Mc Dowell y Arthington, 2005).

Los alimentos ricos en energía son generalmente pobres ($3\text{-}5 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) en potasio, el bagazo de cervecería es demasiado bajo ($0.4 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), también se ha visto que los forrajes tratados con álcali tienen concentraciones bajas de este elemento, en contraste se ha visto que las fuentes proteicas contienen de 10 a $20 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$. Igualmente la melaza y los subproductos de remolacha aportan cantidades considerables de potasio (Underwood y Suttle, 2003).

2.7.2 Funciones

El potasio es el tercer elemento más abundante en el organismo, y es considerado de acuerdo con Ward (1966) el ion intracelular más importante en

los tejidos, suele presentarse en concentraciones de 100-160 mmol L⁻¹, los gradientes establecidos por el potasio permiten crear un potencial eléctrico esencial para mantener la estimulación, tono muscular y contracción muscular, participa en la transmisión de impulsos nerviosos, en funciones del corazón regulación de la presión osmótica y regulación del balance hídrico. Sexson *et al.* (2010) mencionan que el potasio actúa como cofactor de varias enzimas que intervienen en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, como: ATPasa, hexoquinasa, anhidrasa carbonica, colinesterasa, galactosidasa, piruvato quinasa, fructoquinasa, fosfofructotransferasa. El potasio contribuye a la regulación del balance ácido-base y participa en la respiración celular, mediante el intercambio con cloro (Underwood y Suttle, 2003).

2.7.3 Metabolismo

En los rumiantes adultos el potasio es absorbido en el retículo-rumen, la entrada del potasio al torrente sanguíneo ocurre a través de canales conductores de la mucosa intestinal (Underwood y Suttle, 2003). La mayor parte del potasio del organismo (98%) se localiza en el interior de las células, esencialmente en los músculos, sólo el 2% del potasio está presente en el líquido extracelular (Cunningham, 2003).

El potasio es transportado al espacio intracelular por varios mecanismos. De acuerdo a Underwood y Suttle (2003) hay más mecanismos para transportar este elemento a través de las membranas que para cualquier otro elemento. Se conocen cerca de seis canales de potasio regulados de diferente manera, dentro de estos mecanismos podemos mencionar la bomba Na⁺/K⁺ ATPasa, bombas de H⁺/K⁺ ATPasas y cotransportadores. Las concentraciones de potasio y de sodio dentro y fuera de la célula crean un gradiente de concentración en la que el potasio rápidamente se difunde en el líquido intracelular, mientras que el sodio rápidamente se difunde en el líquido extracelular, la ATPasa Na⁺,K⁺ bombea tres Na⁺ fuera de la célula y dos K⁺ al interior de la misma por cada ATP hidrolizado (Cunningham, 2003).

Los riñones excretan del 90 al 95% del potasio ingerido. La distribución de potasio en el organismo está regulado por una serie de compuestos como la insulina, las catecolaminas y la aldosterona (Peterson, 1997). La insulina estimula la captación del potasio en el hígado y en los músculos esqueléticos mediante el aumento de la actividad de la bomba ATPasa Na^+ , K^+ . La captación celular de potasio es también acelerada por la hiperpolarización. La aldosterona influye en la excreción de potasio por la activación de los canales de sodio que permiten la entrada de sodio a partir de la luz de la nefrona y la salida de potasio (Peterson, 1997).

2.7.4 Requerimientos

Para los rumiantes el requerimiento varia de 0.5 a 1.0 % de la dieta, para las vacas lecheras en lactación bajo estrés por calor el requerimiento es mayor a 1.2% de la dieta, se estima que los requerimientos de potasio pueden aumentar, en caso de que los animales estén bajo estrés, la agitación tiende a aumentar las pérdidas de potasio en la orina, además de que las enfermedades como diarrea aumentan las pérdidas de este elemento (McDowell y Arthington, 2005).

El ARC (1980) sugiere que los requerimientos de potasio para las vacas lecheras deben ser mayores a los requerimientos de otros rumiantes, debido a que el potasio se encuentra en altas concentraciones en la leche, la recomendación dada por el ARC es de 6.4-7.4 g de potasio Kg/MS.

2.7.5 Deficiencia

La deficiencia de potasio es poco común, Ammerman y Goodrich (1983) sugieren que puede haber deficiencias primariamente por desequilibrios fisiológicos como: enfermedades gastrointestinales que cursen con cuadros diarreicos ya sean agudos o crónicos, enfermedades renales y por condiciones estresantes. Los signos de deficiencia de potasio incluyen anorexia, depresión del crecimiento, debilidad muscular, irritabilidad, parálisis y tetania.

McDowell y Arthington (2005) señalan que en la deficiencia de este elemento hay signos como la reducción del crecimiento, bajo consumo de agua y alimento, trastornos nerviosos, disminución en la eficiencia de utilización del alimento, rigidez, acidosis intracelular y degeneración de los órganos vitales.

2.7.6 Toxicidad

La toxicosis de potasio es poco frecuente en animales sanos, debido a la capacidad del cuerpo de excretar el potasio fácilmente y regular su absorción. Las principales causas de la hipercalemia son: deshidratación, excreción aumentada de Na, reducción de pérdidas renales, insuficiencia renal aguda e ingesta excesiva de potasio (NRC, 2005).

Niveles altos de potasio han derivado en bajos niveles de magnesio en sangre, con aumento de su excreción (Ward, 1966). El alto contenido del potasio en épocas críticas del año puede ser antagonista de la absorción y utilización de magnesio, también se ha visto que el exceso moderado de potasio puede agravar la deficiencia de Na y predisponer a la fiebre de leche (McDowell y Arthington, 2005).

2.7.7 El papel del potasio en el periodo de recepción

Durante el estrés hay una hiperactividad de la corteza adrenal lo cual estimula la producción de aldosterona resultando en una excesiva reabsorción de Na y un aumento en la excreción urinaria de K (Hutcheson y Cole, 1986). Por ello es que en el periodo de recepción, los animales podrían pasar por una deficiencia de K.

Hutcheson *et al.*, (1984) realizaron una serie de experimentos para determinar los requerimientos de potasio del ganado en el periodo de recepción, obteniendo las mejores respuestas cuando las dietas tuvieron entre 1.27 y 1.41 % de potasio, el consumo óptimo de K fue cuando se proporcionó de 26 a 33 g de este mineral por 100 kg⁻¹ de peso vivo. Estos requerimientos adicionales de potasio son necesarios para promover la ganancia de peso y el balance

adecuado de electrolitos. Sexson *et al.*, (2010) realizaron un experimento en el que compararon el comportamiento productivo de ganado de engorda con dos niveles de inclusión: 1 % y 0.75 % de K, los animales fueron más eficientes cuando consumían 1% de potasio en la dieta.

2.8 Inmunidad y estado mineral

El sistema inmunológico es considerado como un conjunto de mecanismos que protegen al organismo de infecciones por medio de la identificación y eliminación de agentes infecciosos (Abbas *et al.*, 2007). De acuerdo a Tizard (2002) hay tres mecanismos generales mediante los cuales el cuerpo animal se defiende de los organismos invasores:

- Barreras físicas: las constituyen la piel, procesos de auto limpieza como la tos, el estornudo, la diarrea y la presencia de flora normal.
- Inmunidad innata o inespecífica: está constituida por células como los neutrófilos, eosinófilos y macrófagos, que se caracterizan por activarse de forma inmediata siempre que cualquier sustancia extraña penetra en el organismo, estas células se movilizan hacia dicho foco, reconocen y hacen contacto con la sustancia extraña, la destruyen mediante el proceso de fagocitosis y posterior lisis intracelular. También en este tipo de respuesta participan las células asesinas naturales, conocidas como natural killer o NK y enzimas como la lisozima que daña las células bacterianas.
- Inmunidad adquirida o específica: esta respuesta es efectiva para aquellos antígenos frente a los cuales se ha inducido y desarrollado. Este tipo de respuesta es mediada por los linfocitos. Los linfocitos son de dos tipos: linfocitos B y linfocitos T. Los T, a su vez, pueden ser T colaboradores (Th), T citotóxicos (Tc) y T supresores (Ts). Cuando la reacción inmunitaria es mediada por anticuerpos y se dirige contra invasores exógenos se llama inmunidad humoral, mientras que si la

reacción inmunitaria es dirigida por células citotóxicas que atacan invasores intracelulares, se denomina inmunidad celular.

La nutrición puede modular la inmunidad reforzando, suprimiendo o modificando la naturaleza de la respuesta inmune, tanto los macro como los micro nutrientes derivados de la dieta afectan la función del sistema inmunitario a través de acciones en el tracto gastrointestinal, el timo, el bazo, los ganglios regionales y las células inmunes (Chandra,1997). El Zn, Se, Cu, Fe y la vitamina A son algunos ejemplos de nutrientes que pueden comprometer el desarrollo del sistema inmune en el animal en crecimiento en caso de una carencia nutricional (Cunningham-Rundles *et al.*, 2005). La secreción de anticuerpos tras la vacunación en los animales jóvenes puede verse perturbada por deficiencias maternas de zinc, hierro, cobre, selenio y magnesio (Miller, 1985).

Galyean *et al.*, (1999) demostraron mediante ensayos de campo, disminución en la morbilidad de la enfermedad bovina respiratoria (EBR) al adicionar Zn, Cu, Se y Cr, lo que sugiere que estos pueden alterar la función inmune de los terneros que entran al corral de engorda. Las deficiencias de Zn, Fe, Se y Cu se han manifestado en menor resistencia a las enfermedades ya sea a través una respuesta inmunitaria deficiente o una defectuosa función de leucocitos (Miller, 1985).

2.8.1 Zinc y función inmune

El zinc es un componente esencial que actúa como cofactor o regulador de distintas enzimas metabólicas relacionadas con la síntesis proteica, ácidos nucleicos, metabolismo de carbohidratos y también asociado con la función inmune (Mc Dowell y Arthington, 2005). El zinc participa en múltiples funciones del sistema inmune, que van desde la regeneración del tejido cutáneo hasta la regulación de genes de leucocitos, las variadas funciones del zinc se deben a

que el zinc es necesario para la replicación del ADN, transcripción del ARN, la división celular y la activación celular.

El zinc es necesario para el desarrollo y función de las células mediadoras inespecíficas de la inmunidad como los neutrófilos y células asesinas naturales; en la deficiencia de zinc, el funcionamiento de los macrófagos se altera, provocando irregularidades en la muerte intracelular, la producción de citoquinas y fagocitosis, además se ha comprobado que la deficiencia de zinc potencializa la apoptosis (muerte celular programada) (Shankar y Prasad, 1998).

O' Dell (2000) señala que el zinc es indispensable para la integridad y estabilidad de las membranas celulares; con la deficiencia de este mineral se altera la composición de la membrana plasmática, debido a cambios en el contenido de lípidos, en especial se aumenta la fragilidad de los eritrocitos. Miller (1985) indica que cuando hay deficiencias de zinc se reduce significativamente el peso del timo, hay un aumento en el número de leucocitos, con reducido porcentaje de linfocitos y un elevado porcentaje de neutrófilos en banda (inmaduros).

El zinc participa en la activación de los linfocitos T y la transducción de señales de glicoproteínas como la CD4 (cúmulo de diferenciación 4). Ésta molécula estimula la proliferación de células T, lo que da la señal adecuada para la multiplicación y diferenciación de las células B en células secretoras de inmunoglobulinas. El zinc también actúa como un antioxidante, protegiendo las células de los radicales de oxígeno, que se generan durante la activación inmunitaria, es un componente de la enzima superóxido dismutasa citosólica, que regula la expresión de la metalotioneína en los linfocitos, la cual tiene actividad antioxidante (Shankar y Prasad, 1998).

2.8.2 Cobre y función inmune

McDowell y Arthington, (2005) mencionan que el cobre es necesario para la respiración celular, la formación de huesos, una apropiada función cardíaca y el desarrollo de tejido conectivo, el cobre en general es un componente de varias metaloenzimas. Underwood y Suttle (2003) señalan que el cobre, después del zinc, es el mineral que activa el mayor número de enzimas; el cobre es esencial para la eritropoyesis, la ceruloplasmina es una enzima dependiente de cobre que promueve la incorporación del hierro a la ferritina.

El cobre forma parte integral del sistema citocromo, es parte estructural de las enzimas Cu-superóxido dismutasa (CuSOD), CuZn-superóxido dismutasa (ZnCuSOD) y la enzima citocromo oxidasa, estas enzimas son necesarias para varias funciones del sistema inmune; los leucocitos son dependientes de la enzima superóxido dismutasa para un funcionamiento adecuado, la disminución de la enzima reduce la vida media de estas células. La ceruloplasmina y superóxido dismutasa, tienen actividad anti-inflamatoria y desempeñan un papel fundamental en la prevención del daño tisular oxidativo resultante de la infección y la inflamación (Suttle y Jones, 1986).

Percival (1998) menciona que el número de neutrófilos en la sangre periférica humana se reduce en los casos de deficiencia grave de cobre, no sólo se reducen en número, además su capacidad para generar anión-superóxido y matar a los microorganismos ingeridos también se disminuye. Prohaska y Lukasewycz (1989), encontraron en ratones con deficiencia inducida de cobre disminución en la inmunidad adquirida, anémia, el peso del timo fue significativamente más bajo y la producción de anticuerpos se redujo significativamente en comparación con los animales control.

Suttle y Jones (1986), reportan en corderos Scottish Blackface, genéticamente predispuestos a una baja condición de cobre y con alta mortalidad debida a infecciones bacterianas, la suplementación con cobre aumentó notablemente la

supervivencia de los corderos. Sharma *et al.*, (2005) realizaron un estudio con 40 vaquillas con hipocupremia divididas en dos tratamientos; el tratamiento A recibió sulfato de cobre y el tratamiento B no recibió cobre. Las vaquillas suplementadas con cobre aumentaron los niveles de hemoglobina, el total de leucocitos y eritrocitos a los 30 d de administrado el tratamiento, también encontraron un aumento en los niveles de ceruloplasmina, monoamino oxidasa y citocromo oxidasa. La actividad fagocítica de neutrófilos fue significativamente mejor en los animales suplementados.

2.8.3 Hierro y función inmune

El 60% del hierro corporal se presenta en forma de hemoglobina y mioglobina para el transporte de oxígeno a los tejidos. El hierro es un componente de enzimas como: hemo-citocromo, hidroxilasas, catalasas y peroxidases que participan en procesos biológicos básicos (Underwood y Suttle, 2003).

El hierro es uno de los minerales cuya distribución tisular cambia durante la fase aguda de la respuesta inmunológica, la concentración de hierro en plasma disminuye como consecuencia de un aumento en la síntesis de ferritina, proteína cuya función es el almacenamiento de hierro (Piquer, 1995). Esta acción es un mecanismo de defensa ante microorganismos, que utilizan el hierro sanguíneo para su crecimiento. Prentice (2008) señala que los suplementos de hierro parecen aumentar la susceptibilidad a la malaria, medida por una variedad de índices malariométricos. En contraste Sherman (1992) menciona que ante una deficiencia de hierro la capacidad de los macrófagos de producir citoquinas disminuye y la actividad oxidante de los neutrófilos es menor.

Kochanowski y Sherman (1985) reportan que en ratas deficientes en hierro, la formación de anticuerpos disminuyó 50%, en comparación con el control, concluyen que una deficiencia materna de hierro durante el crecimiento post-natal puede resultar en un deterioro a largo plazo de la inmunidad humoral, que

ya no es corregida mediante la reposición de hierro en la dieta, después del destete.

2.8.4 Selenio y función inmune

El selenio es un elemento necesario para el crecimiento, fertilidad y la prevención de una serie de enfermedades en los animales (Underwood y Suttle, 2003). La importancia del selenio radica en que protege a las membranas celulares contra la degeneración y muerte de los tejidos, el Se funciona como un componente esencial de la enzima glutatión-peroxidasa (GSH-Px), que destruye los lípidos y los hidroperóxidos (McDowell y Arthington, 2005).

Los efectos inmuno-moduladores de selenio se producen a través de tres principales mecanismos: (i) efectos anti-inflamatorios de seleno-proteínas, (ii) capacidad antioxidante a través de seleno-enzimas que alteran el estado redox de la célula, y (iii) a través de la generación de citostáticos y compuestos anticancerígenos que surgen como productos del metabolismo del Se, (Mckenzie *et al.*, 2002).

Reffett *et al.*, (1988) demostraron que en corderos suplementados con Se desafiados con el virus de parainfluenza 3 hubo un aumento en la actividad de la GSH-Px y un incremento en los títulos de IgM, en comparación con el grupo control. Se ha encontrado que la deficiencia de selenio ocasiona títulos de IgG e IgA bajos en ratas y títulos de IgG e IgM reducidos en seres humanos (Arthur *et al.*, 2003).

La deficiencia de selenio en el ganado, ocasiona una serie de alteraciones en el sistema inmune; reduce la capacidad de los neutrófilos, debido a la disminución de la actividad de la GSH-Px, que actúa en los procesos fagocitarios; induce modificaciones en las células NK; disminuye la toxicidad de los linfocitos CD8; y en general provoca depresión de la respuesta inmune (Spears, 2000).

2.9 Literatura citada

- Abbas, A., A. H. Lichtman, y S. Pillai. 2007. *Inmunología Celular y Molecular*. Sexta edición. Elsevier, España. Madrid, España. 566 p
- Ammerman, C. B., and R. D. Goodrich. 1983. Advances in mineral nutrition in ruminants. *Journal of Animal Science* 57: 519-533
- ARC. 1980. *The Nutrient Requirements of Ruminants Livestock*. Agricultural Research Council. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, England. 351 p.
- Arteaga C., J. D. 2007. Diagnóstico actual de la situación de los ovinos en México. *La Revista del Borrego* 46: 28-32.
- Arthur, J. R., R. C. McKenzie, and G. J. Beckett. 2003. Selenium in the immune system. *The Journal of Nutrition* 133: 1457S–1459S.
- Chandra, R., K. 1997. Nutrition and the immune system: an introduction. *The American Journal of Clinical Nutrition* 66: S460–S463
- Coppo, D., J. A. 2007. El destete precoz produce estrés en los terneros cruza cebú. *Revista electrónica de Veterinaria* N° 2 Vol. VIII: 1-40.
- Cuéllar O., J. A. 2003. Perspectivas de la Ovinocultura en México. *In: Memorias del Segundo Seminario sobre producción Intensiva de Ovinos*. 3 al 7 de diciembre. Villahermosa, Tabasco. México. pp: 7-8.
- Cunningham, J. G. 2003. *Fisiología Veterinaria*. Tercera edición. Elsevier, España. Madrid, España. 583 p.
- Cunningham-Rundles, S., D. F. McNeeley, A. Moon. 2005. Mechanisms of nutrient modulation of the immune response. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 115: 1119-1128.
- Dean, D., S. Miranda, M. Ventura, R. López, and A. Quintero. 1997. Effect of the supplementation with different mineral sources on the body development of crossbred lambs. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 5(2): 229-231.
- Duran, L. J., y O. V. López, M. 2007. *Suplementación mineral de corderos*. Tesis de licenciatura. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo., Chapingo, Estado de México. pp: 12-38.
- Díaz, M., R. 1955. *Ganado lanar*. Salvat editores. Barcelona, España. 200 p.

- Domínguez-Vara, I. A., y M. Huerta-Bravo. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.
- Galyean, M. L., L. J. Perino, and G. C. Duff. 1999. Interaction of cattle health-immunity and nutrition. *Journal of Animal Science* 77:1120-1134.
- Ganong, W.F. 1996. *Fisiología Médica*, 15^o ed. Manual Moderno. D.F., México. 744 p.
- Huerta, B., M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. *In: Memorias del curso; Alternativas de Manejo en Bovinos para carne en pastoreo.* Departamento de Zootecnia (ed.). 21 al 23 de mayo de 1997. Chapingo, México. pp: 21-60.
- Huerta, B., M. 2007. Sistema intensivo del engorde de corderos: una experiencia de México. *In: Memorias del Tercer Simposio Internacional sobre Caprinos y Ovinos de Carne.* 26 al 28 de noviembre. Paraíba, Brasil. pp: 23-25.
- Huerta, B., M. 2008. La importancia de los minerales en la alimentación de ovinos. *In: Memorias del IV Seminario de Producción de Ovinos en el Trópico.* Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (ed.). 13 al 17 de octubre. Villahermosa, Tabasco. pp: 25-28.
- Hutcheson, D. P., N. A. Cole., and J. B. McLaren.1984. Effects of pretransit diets and post transit potassium levels for feeder calves. *Journal of Animal Science* 58: 700.
- Hutcheson, D. P., and N. A. Cole. 1986. Management of transit-stress syndrome in cattle: nutritional and environmental effects. *Journal of Animal Science* 62:555-560.
- Kochanowski, A., A. R. Sherman. 1985. Decreased antibody formation in iron-deficient rat pups-effect of iron repletion. *The American Journal of Clinical Nutrition* 41: 278-284.
- Martinez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p
- McDowell, L. R., and J. D. Arthington. 2005. *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales.* Cuarta edición. Departamento de Zootecnia. Centro de Agricultura Tropical. Gainesville, Florida, USA. 94 p.
- McKenzie, R. C., J. R. Arthur, S. M. Miller, T. S. Rafferty, and G. J. Beckett. 2002. Selenium and the immune system. *In: Nutrition and Immune*

- Function (Calder, P. C., C. J. Field and N. S. Gill, eds.), pp. 229–250. CAB International, Oxford, U.K.
- Miller, E. R. 1985. Mineral x disease interactions. *Journal of Animal Science* 60:1500-1507.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Seventh revised edition. National Academy Press. Washington, D. C., USA. p 54.
- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C., USA. 510 p.
- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids. The National Academies Press. Washington, D. C., USA. 345 p.
- O'Dell, B., L. 2000. Role of zinc in plasma membrane function. *The Journal of Nutrition* 130: 1432S-1436S
- Orcasberro, R., S. Fernández, e I. Tovar. 1982. La producción ovina de la zona de Río Frío, México. *In: Memorias del primer seminario nacional sobre sistemas de producción pecuaria.* Universidad Autónoma Chapingo., Chapingo, Estado de México. pp 269-288
- Peterson, L. N. 1997. Potassium in nutrition. *In: Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*, B. L. O'Dell and R. A. Sunde, eds. New York: Marcel Dekker. Pp: 153–183
- Percival, S., S. 1998. Copper and immunity. *The Journal of Nutrition* 67:1064S-1068S
- Piquer, F. J. 1995. Micronutrientes e Inmunidad. *In: XI Curso de especialización FEDNA.* Barcelona, España.
- Prentice, M., A. 2008. Iron metabolism, malaria, and other infections: what is all the fuss about?. *The Journal of Nutrition* 138: 2537-2541.
- Prohaska, J.R., and O.A. Lukasewycz. 1989. Copper deficiency during perinatal development: effects on the immune response of mice. *The Journal of Nutrition* 119: 922-931.
- Reffett, J. K., J. W. Spears, and T. T. Brown, Jr. 1988. Effect of dietary selenium and vitamin E on the primary and secondary immune response in lambs challenged with parainfluenza3 virus. *Journal of Animal Science* 66:1520-1528.
- Ricalde R., G., D. Mendoza, R., M. Crosby, T., y E. Sandoval, M. 1998. Manejo nutricional en corrales de engorda. *Veterinaria México* 29: 3.

- Rosas A., J. C. 1999. Diagnóstico Mineral en una explotación ovina en San Juan Teotihuacán, México. Tesis de licenciatura. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México. pp: 35-42.
- SAGARPA. 2005. Producción Anual Pecuaria en México. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/ar_commenmpio.html. Fecha de consulta 17 de octubre del 2009.
- Sexson, J. L., J. J. Wagner, T. E. Engle and J. W. Spears. 2010. Effects of water quality and dietary potassium on performance and carcass. *Journal of Animal Science* 88: 296-305
- SIAP-SAGARPA. 2009. Inventario Ovino. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_commenmpio.html. Fecha de consulta 3 de marzo del 2010.
- Schaefer, A. L., S. D. Jones and R. W. Stanley. 1997. The use of electrolyte solutions for reducing transport stress. *Journal of Animal Science* 75:258-265.
- Sherman, A., R. 1992. Zinc, copper, and iron nutriture and immunity. In: Symposium; History of Nutritional Immunology. *The Journal of Nutrition* 122: 604-609.
- Shankar, A. H. and A. S. Prasad. 1998. Zinc and immune function: the biological basis of altered resistance to infection. *The American Journal of Clinical Nutrition* 68: 447S-463S.
- Sharma, M.C., Ch. Joshi, N.N. Pathak, H. Kaur. 2005. Copper status and enzyme, hormone, vitamin and immune function in heifers. *Research in Veterinary Science* 79:113–123.
- Spears, J. W. 2000. Micronutrients and immune function in cattle. *Proceedings of the Nutrition Society* 59: 587–594.
- Suttle, N. F. and D. G. Jones. 1986 Copper and disease resistance in sheep: a rare natural confirmation of interaction between a specific nutrient and infection. *Proceedings of the Nutrition Society* 45: 317-325.
- Tizard, I. R. 2002. *Inmunología Veterinaria*. Sexta edición. McGraw-Hill Interamericana. D.F., México, D.F. 576 p.
- Underwood, E. J., y N. F. Suttle. 2003. *Los Minerales en la Nutrición del Ganado*. Tercera edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 453 p.
- Ward, G. M. 1966. Potassium metabolism of domestic ruminants. *Journal of Dairy Science* 48: 709-712.

3 DESARROLLO DE UNA MEZCLA MINERAL PARA LA RECEPCIÓN DE OVINOS EN EL CORRAL DE ENGORDA. EXPERIMENTO EN HUAMANTLA

3.1 RESUMEN

Con el objetivo de formular, elaborar y evaluar un suplemento mineral para la recepción de ovinos en el corral de engorda intensiva, se midió el comportamiento productivo y estado mineral de 28 corderos distribuidos en dos tratamientos: 1) 100% del requerimiento de minerales traza (MT) y 0% de potasio (K); y 2) 200% del requerimiento de MT y 0.7% de K suplementario en la dieta. Los tratamientos fueron suministrados durante los primeros 25 días del experimento, y del día 26 al 60 todos los animales recibieron la misma alimentación y la misma suplementación mineral. Las variables evaluadas fueron ganancia diaria de peso, peso final y estado mineral en suero sanguíneo de nueve minerales: calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, cobre, zinc, hierro y selenio. La suplementación del 200% de MT y 0.7% de K corrigió la deficiencia sérica de cobre (0.56 vs 0.87 mgL^{-1} , $p \leq 0.01$) y el peso vivo final fue superior (29.4 vs 24.6 kg, $p \leq 0.02$) en comparación con los corderos del tratamiento 1. La ganancia diaria de peso mejoró en 51% comparada con la de los corderos suplementados convencionalmente; sin embargo, no existieron ($p > 0.12$) diferencias significativas entre tratamientos. La concentración sérica de calcio y magnesio no se afectó en los animales que recibieron el doble de MT y 0.7% de K suplementario, a pesar de que la dieta de estos corderos tuviera un poco más del máximo tolerable de potasio (2.1%).

Palabras clave: corderos, engorda, minerales traza, potasio.

DEVELOPMENT OF A MINERAL MIXTURE FOR RECEPTION OF LAMBS IN THE FEEDLOT. EXPERIMENT IN HUAMANTLA

Abstract

In order to formulate, prepare and evaluate a mineral supplement for lambs receiving intensive fattening, growth performance and mineral status were evaluated in 28 lambs divided to two treatments: 1) 100% of the trace mineral requirements (MT) and 0% potassium (K) and 2) 200% of MT plus 0.7% supplemental K in the diet. The treatments were given during the first 25 days of the experiment; from day 26 to 60 all animals received the same diet and mineral supplementation. The variables evaluated were average daily gain, final weight and blood serum mineral concentration of: calcium, magnesium, sodium, potassium, phosphorus, copper, zinc, iron, and selenium. The supplementation with 200% of MT plus 0.7% of K, corrected the deficiency in serum copper (0.56 vs 0.87 mgL^{-1} , $p \leq 0.01$) and the final live weight was higher (29.4 vs. 24.6 kg, $p \leq 0.02$) compared to that of lambs supplemented with 100% MT. The daily gain improved 51% compared to conventionally supplemented lambs, but there were no ($p > 0.12$) significant differences between treatments. Levels of serum calcium and magnesium were not affected in animals receiving 200% MT and 0.7% supplemental K, although the diet of these lambs had a little more than the maximum tolerable potassium (2.1%).

Keywords: lambs, intensive fattening, trace minerals, potassium.

3.2 Introducción

La alimentación es el componente más importante de la producción animal, y un elemento básico es el balance apropiado de minerales esenciales. De acuerdo a McDowell y Arthington (2005), estos minerales son primordiales para todos los animales y su desbalance (exceso o deficiencia) puede provocar baja producción.

En la engorda de ovinos, uno de los momentos clave es la recepción, debido a que en esta etapa suceden cambios significativos en la fisiología del animal, los cuales pueden afectar su eficiencia productiva. Lograr una adecuada adaptación en este período asegurará un mayor éxito en la engorda; Hutcheson y Cole (1986) mencionan que el período de recepción deben considerarse varios factores como: el consumo de alimento, la deshidratación, la nutrición mineral y el estrés por el transporte y manejo al que es sometido el animal. Estos factores afectan los requerimientos nutricionales del animal, por lo que el manejo nutricional tendrá que ser diferente; además, los animales que llegan al corral de engorda pueden tener deficiencias minerales, situación que puede complicarse con dietas a base de cereales, que por lo general son deficientes en calcio, sodio, potasio, cobre, zinc y cobalto (NRC, 2007).

Comercialmente no hay una formulación mineral para corderos durante la recepción en el corral de engorda. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue formular, elaborar y evaluar un suplemento mineral para ovinos al momento de la recepción en el corral de engorda.

3.3 Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Centro Demostrativo Ovino, localizado en la Carretera federal México-Veracruz km 164, Barrio de San Sebastián, en Huamantla, Tlaxcala, el municipio está ubicado en el Altiplano central mexicano entre 19°41' N y 97°55' O, a una altitud de 2,500 m. El clima del municipio es semiseco-templado (BSI KW(W)), con régimen de lluvias en mayo, junio, agosto y septiembre (García, 1988).

Características de los animales y duración de la fase experimental

Se utilizaron 28 corderos de cruza de razas de pelo originarios de diferentes regiones del estado de Tlaxcala, con 15 ± 3 kg de peso vivo y 3 ± 1 meses de edad, asignados en un diseño completamente al azar en dos tratamientos, el primer tratamiento (n=14) consistió en un suplemento mineral que cubría el 100% de los requerimientos de minerales traza (MT) de los animales y 0% de potasio (K) suplementario, en el tratamiento dos (n=14) los animales recibieron una mezcla mineral con el doble del requisito de MT y 0.7 % K suplementario. Los tratamientos fueron suministrados durante los primeros 25 días del experimento, del día 26 al día 60 del experimento los 28 corderos recibieron la misma alimentación y la misma suplementación mineral.

Manejo y alimentación de los animales

Los animales fueron alojados en corrales elevados con piso metálico (slats), al inicio del estudio fueron desparasitados con una dosis subcutánea (1ml) de ivermectina (IVOMEC®, Merial, México). El consumo de alimento fue registrado semanalmente, los animales fueron pesados al día 0, 25 y 60 del experimento, los días de pesaje se tomaron muestras de sangre por punción directa de la vena yugular. La alimentación que se suministró consistió en dos dietas, una dieta de adaptación (Cuadro 4) que se proporcionó cuando los animales ingresaron al corral de engorda por un periodo de 25 días y posteriormente los corderos recibieron dietas de finalización (Cuadro 5).

Cuadro 4. Dietas experimentales de recepción suministradas a corderos en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla

Ingredientes	Dietas ^z	
	Dieta testigo	Dieta experimental
	Porcentaje (base seca)	
Maíz	25	25
Triticale	25	25
Sorgo	17	17
Pasta de soya	12.3	12.3
Heno de cereales	7	7
Rastrojo de maíz	3	3
Melaza	6	6
Urea	1	1
Carbonato de calcio	1.4	1.4
Bicarbonato de sodio	0.5	0.5
Sal	0.5	0.5
Premezcla vitaminas	0.15	0.15
Premezcla minerales traza ^x	0.05	0.1
Cloruro de potasio	0	0.7
<u>Contenido nutrimental^y</u>		
Proteína cruda, %	17.2	16.8
Energía metabolizable, Mcal/kg	2.6	2.6
Calcio, %	0.72	0.77
Fósforo, %	0.33	0.35
Magnesio, %	0.25	0.28
Potasio, %	1.4	2.1
Sodio, %	0.8	0.9
Cobre, mg kg ⁻¹	10	26
Zinc, mg kg ⁻¹	38	86
Hierro, mg kg ⁻¹	22	25
Selenio, mg kg ⁻¹	0.18	0.39

^z La adaptación a la dieta se realizó con heno de cereales, el primer día del experimento recibieron una ración con 100% de forraje, posteriormente la dieta se incorporó gradualmente, el incremento fue de 10% de la dieta cada tres días hasta que se alcanzó el 100% de la dieta.

^x La dieta testigo tenía 0.05 g de mezcla mineral/kg de dieta para cubrir el 100% del requerimiento de MT, la dieta experimental tenía 0.10 g de mezcla mineral/kg de dieta para cubrir el 200% del requerimiento de MT. La composición de la premezcla de minerales traza (mg/kg) fue: cobalto, 400; cobre, 10,000; yodo, 1,600; manganeso, 20,000; selenio, 593; y zinc, 100,000.

^y La proteína cruda y los minerales fueron analizados en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes de la UACH, mientras que la energía metabolizable fue calculada.

Cuadro 5. Dietas de finalización suministradas a corderos en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla

Ingredientes	Dieta ^z
	Porcentaje (base seca)
Maíz/ Triticale	51.27
Sorgo	17
Pasta de soya	11.5
Heno de cereales	7
Rastrojo de maíz	3
Melaza	6
Urea	1
Carbonato de calcio	1.6
Bicarbonato de sodio	0.5
Sal	0.6
Premezcla Vitaminas	0.15
Premezcla Minerales ^y	0.05
Bovatec	0.03

^zDieta suministradas del día 25 al 60 del experimento.

^yLa composición de la premezcla de minerales traza (mg/kg) fue: cobalto, 400; cobre, 10,000; yodo, 1,600; manganeso, 20,000; selenio, 593; y zinc, 100,000.

Análisis y manejo de las muestras

Cada semana se tomaron muestras de agua y alimento. Las muestras de sangre se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 minutos, se separó el suero y después se refrigeró a -20°C para su posterior procesamiento. El suero, alimento y agua fueron analizados para conocer su concentración de Ca, P, Na, K, Mg, Cu, Zn, Se y Fe utilizando para su procesamiento los métodos descritos por Fick *et al.* (1979).

La técnica empleada para el análisis de Ca, Na, K, Mg, Cu, Zn y Fe fue la de espectrofotometría de absorción atómica, realizada con un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700 (Perkin Elmer). El P se analizó por el método colorimétrico (AOAC, 1995), usando un espectrómetro UV/VIS modelo Lambda 2 (Perkin Elmer). La determinación de Se fue realizada por

espectrofluorimetría (AOAC, 1995), usando un espectrómetro de luminiscencia modelo LS30 (Perkin Elmer).

3.3.1 Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron las concentraciones en suero sanguíneo de Cu, Fe, Zn, Se, Ca, Mg, K, Na y P medidas al día 0, 25 y 60 del ensayo. Además, peso vivo (PV) y ganancia diaria de peso (GDP).

3.3.2 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados como medidas repetidas en el tiempo usando el procedimiento Mixed de SAS (SAS, 2004). Los efectos aleatorios fueron cordero dentro de tratamiento. Los efectos fijos fueron día y tratamiento. Se utilizó la estructura de covarianza simetría compuesta (CS), la cual fue seleccionada con base a los criterios de Akaike's AIC (SAS, 2004). El peso vivo inicial fue utilizado como covariable. Las interacciones no significativas fueron removidas del modelo. Los factores fueron suplementación mineral y tiempo de muestreo. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk}: \mu + S_i + T_j + (ST)_{ij} + a(S)_{ki} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : concentración mineral en suero sanguíneo del k-ésimo cordero en el i-ésimo suplemento y j-ésimo tiempo.

μ : media general.

S_i : efecto fijo del i-ésimo suplemento ($i=1, \dots, 2$)

T_j : efecto fijo del j-ésimo tiempo ($i=1, \dots, 3$)

ST_{ij} : efecto de interacción del i-ésimo suplemento y j-ésimo tiempo.

$a(S)_{ki}$: efecto aleatorio del k-ésimo animal dentro del i-ésimo suplemento.

ϵ_{ijkl} : error experimental

Para las variables de ganancia diaria de peso en las diferentes etapas del experimento y peso vivo final se utilizó un modelo que considera la suplementación como único efecto. El procedimiento utilizado fue GLM de SAS.

3.4 Resultados y Discusión

3.4.1 Estado mineral y su calificación en los corderos

El estado mineral inicial en suero sanguíneo de los animales se muestra en el Cuadro 6. La mayoría de los corderos tuvieron concentraciones deficientes de Ca, Na, Zn y Cu según los criterios sugeridos por Puls (1994). La deficiencia de Cu fue la más grave y afectó a todos los animales del ensayo. La deficiencia de Cu se ha reportado en otras regiones de México (Alvear, 2003; Aguirre y López, 2004; Martínez, 2006; Domínguez y Huerta, 2007).

Cuadro 6. Estado mineral inicial y su calificación, en los corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla

Minerales en suero sanguíneo de ovinos mgL ⁻¹			Calificación del estado mineral inicial, porcentaje de ovinos		
Mineral	Estado inicial	Rango normal ^z	Adecuados	Deficientes	Excesivos
Calcio	90	90 a 130	48	52	0
Magnesio	24	20 a 35	100	0	0
Fósforo	92	40 a 80	21	0	79
Sodio	2897	3100 a 3450	24	69	7
Potasio	222	160 a 215	34	4	62
Cobre	0.36	0.7 a 2.0	0	100	0
Zinc	0.65	0.8 a 1.2	31	69	0
Hierro	2.2	1.66 a 2.22	38	14	48
Selenio	149	90 a 300 ngL ⁻¹	100	0	0

^zFuente: Puls (1994)

Las concentraciones de P, K y Fe en suero sanguíneo estuvieron por arriba del rango normal sugerido por Puls (1994) en la mayoría de los animales. Las concentraciones altas de estos minerales se pueden explicar debido a que se encuentran principalmente dentro de los glóbulos rojos (Underwood y Suttle, 2003), y la deficiencia de Cu puede provocar daño oxidativo a la membrana celular liberando el P, K y Fe del interior de los eritrocitos (Kincaid, 1999).

El estado final de los animales que recibieron la mezcla mineral con el 100% del requisito de MT y 0% de K suplementario se muestra en el Cuadro 7. La mayoría de los corderos tuvieron concentraciones deficientes de Na y Cu según los criterios sugeridos por Puls (1994).

Cuadro 7. Estado mineral final y su calificación en los corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, que recibieron suplementación mineral con 100 % de MT y 0% de K.

Minerales en suero sanguíneo de ovinos mgL ⁻¹			Calificación del estado mineral final, porcentaje de ovinos		
Mineral	Estado final	Rango normal ^z	Adecuados	Deficientes	Excesivos
Calcio	93	90 a 130	60	40	0
Magnesio	24	20 a 35	100	0	0
Fósforo	94	40 a 80	34	0	66
Sodio	3001	3100 a 3450	26	74	0
Potasio	208	160 a 215	54	0	46
Cobre	0.60	0.7 a 2.0	7	93	0
Zinc	0.84	0.8 a 1.2	53	47	0
Hierro	1.9	1.66 a 2.22	40	40	20
Selenio	147	90 a 300 ngL ⁻¹	100	0	0

^zFuente: Puls (1994)

El estado final de los animales que recibieron la mezcla mineral con el 200% del requisito de MT y 0.7% de K adicional se muestra en el Cuadro 8. La mayoría de los corderos tuvieron concentraciones deficientes de Na según los criterios sugeridos por Puls (1994). El nivel de Ca, Cu y Zn fueron adecuados en 73%, 63% y 54% respectivamente, el estado mineral final de estos elementos mejoró con respecto a la concentración inicial.

La concentración de Ca y Mg no se vio afectada por los niveles altos de K (Cuadro 8), los niveles de ambos minerales permanecieron dentro del rango normal sugerido por Puls, (1994). El NRC (2005) señala que el nivel máximo tolerable de K para rumiantes es de 2% en la dieta, sin embargo los corderos del tratamiento dos recibieron 2.1% de K en su dieta y no afecto las concentraciones de Mg y Ca.

Cuadro 8. Estado mineral final y calificación, de los corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, que recibieron suplementación mineral con 200 % de MT y 0.7% de K.

Minerales en suero sanguíneo de ovinos mgL ⁻¹			Calificación del estado mineral final, porcentaje de ovinos		
Mineral	Estado final	Rango normal ²	Adecuados	Deficientes	Excesivos
Calcio	99	90 a 130	73	27	0
Magnesio	23	20 a 35	100	0	0
Fósforo	87	40 a 80	40	0	60
Sodio	2986	3100 a 3450	40	60	0
Potasio	232	60 a 215	14	0	86
Cobre	0.84	0.7 a 2.0	63	27	0
Zinc	0.79	0.8 a 1.2	54	46	0
Hierro	1.8	1.66 a 2.22	63	27	10
Selenio	150	90 a 300 ngL ⁻¹	100	0	0

²Fuente: Puls (1994)

La concentración de Ca y Mg no se afectó por los niveles altos de K (Cuadro 8), los niveles de ambos minerales permanecieron dentro del rango normal sugerido por Puls, (1994). El NRC (2005) señala que el nivel máximo tolerable de K para rumiantes es 2% en la dieta, sin embargo los corderos del tratamiento dos recibieron 2.1% de K en su dieta y no afectó las concentraciones de Mg y Ca.

El efecto del suplemento mineral en las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de los corderos se presenta en el Cuadro 9. El único mineral afectado en suero sanguíneo fue el cobre, cuya concentración fue superior ($p \leq 0.01$) en los corderos suplementados con 200% de los requerimientos de minerales traza, las concentraciones de los demás elementos no fueron afectados por el suplemento. El efecto principal de tiempo en las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de los corderos se presenta en el Cuadro 10. Las concentraciones de Ca, Cu y Zn aumentaron ($p < .03$) durante el transcurso del experimento, mientras que las concentraciones de hierro disminuyeron ($p < .01$).

Cuadro 9. Concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, en los diferentes tratamientos del experimento y nivel de significancia (p) de las diferencias.

Mineral	Tratamientos		EEM ^y	p	Rango normal ^x
	1	2			
Calcio, mgL ⁻¹	90 ^a	97 ^a	7.2	0.28	90 a 130
Magnesio, mgL ⁻¹	24 ^a	24 ^a	0.6	0.96	20 a 35
Fósforo, mgL ⁻¹	86 ^a	93 ^a	5	0.16	40 a 80
Sodio, mgL ⁻¹	3018 ^a	3050 ^a	131	0.80	3100 a 3450
Potasio, mgL ⁻¹	215 ^a	230 ^a	9	0.11	160 a 215
Cobre, mgL ⁻¹	0.47 ^a	0.65 ^b	0.07	0.01	0.7 a 2.0
Zinc, mgL ⁻¹	0.77 ^a	0.72 ^a	0.07	0.48	0.8 a 1.2
Hierro, mgL ⁻¹	2.1 ^a	2.2 ^a	0.2	0.58	1.66 a 2.22
Selenio, mgL ⁻¹	146 ^a	147 ^a	13	0.91	80 a 300

^aMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$)

^yEEM= Error Estándar de la Media.

^xFuente: Puls (1994).

El suplemento mineral con el doble del requerimiento mejoró la concentración de estos minerales en los corderos muy probablemente por el alto contenido de estos elementos en el suplemento. Resultados similares fueron reportados por Eckert *et al.* (1999), quienes señalan que al suplementar ovejas con 10 y 20 mg Cu kg⁻¹ en dieta mejoraron las concentraciones de Cu (27 vs 65%) en suero y se mantuvieron dentro del rango adecuado por tres meses. MacPherson (1984) encontró que vacas suplementadas con 20, 40 y 60 g de alambre de óxido de Cu incrementaron significativamente ($p < 0.01$) la concentración de Cu en plasma respecto a vacas no suplementadas, manteniendo una tendencia de incremento hasta los ocho meses, y permaneciendo dentro del rango adecuado por más de 11 meses.

Cuadro 10. Concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en el Centro Demostrativo Ovino de Huamantla, en las diferentes etapas del experimento y nivel de significancia (p) de las diferencias.

Mineral	Día del experimento			EEM ^y	p	Rango normal ^x
	0	25	60			
Calcio, mgL ⁻¹	91 ^a	93 ^a	97 ^b	2.1	0.03	90 a 130
Magnesio, mgL ⁻¹	24 ^a	23 ^a	23 ^a	0.5	0.38	20 a 35
Fósforo, mg L ⁻¹	91 ^a	88 ^a	90 ^a	3.2	0.52	40 a 80
Sodio, mgL ⁻¹	2981 ^a	3045 ^a	3076 ^a	80.6	0.48	3100 a 3450
Potasio, mgL ⁻¹	223 ^a	225 ^a	220 ^a	6.5	0.76	160 a 215
Cobre, mgL ⁻¹	0.38 ^a	0.57 ^b	0.73 ^c	0.02	<.01	0.7 a 2.0
Zinc, mgL ⁻¹	0.65 ^a	0.77 ^b	0.81 ^b	0.04	0.03	0.8 a 1.2
Hierro, mgL ⁻¹	2.2 ^a	2.2 ^a	1.8 ^b	0.09	0.01	1.66 a 2.22
Selenio, ngL ⁻¹	147 ^a	145 ^a	148 ^a	1.3	0.21	80 a 300

^zMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^yEEM= Error Estándar de la Media.

^xFuente: Puls (1994).

La disminución de la concentración de Fe puede ser explicada por el aumento en las concentraciones de Cu y Zn, de acuerdo con Suttle *et al.*, (1987) corderos deficientes en Cu han presentado signos de estrés oxidativo en forma de cuerpos de Heinz dentro de los eritrocitos, lo cual causa hemolisis y con ello la salida del Fe y otros elementos del interior de la célula al espacio extracelular.

La única interacción importante suplemento x tiempo ($p < .01$) se presentó para el cobre en suero sanguíneo (Fig. 1). Aun cuando la concentración de cobre en suero sanguíneo de los corderos se mejoró con ambos suplemento a través del tiempo, aquellos que recibieron el 200% de los requerimientos de minerales traza más 0.7% de potasio lograron concentraciones más altas que los animales suplementados con 100% de los requerimientos de minerales traza.

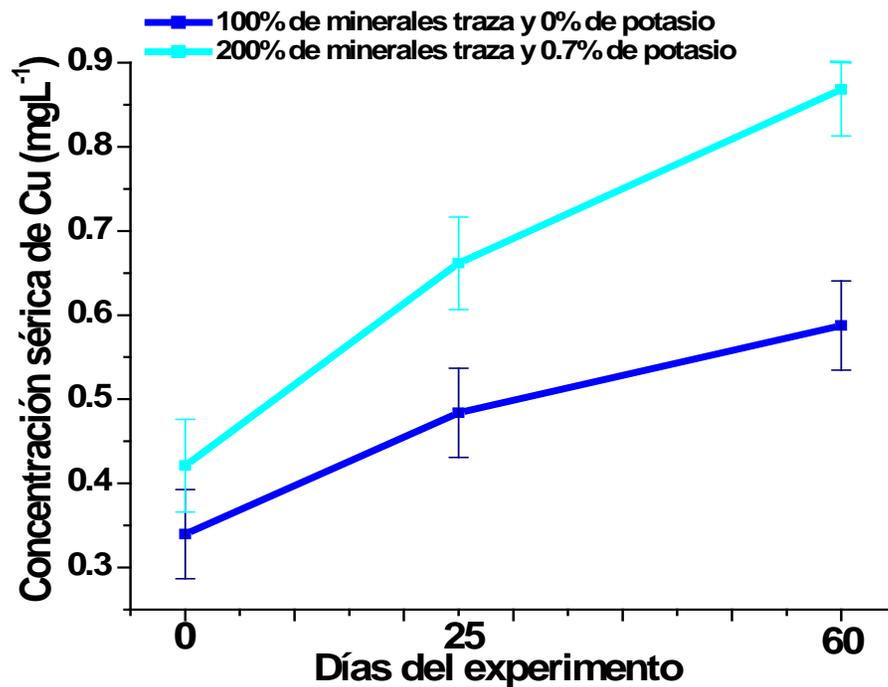


Figura 1. Concentración sérica de cobre mgL^{-1} en los dos tratamientos, durante los 60 días del experimento.

Las concentraciones promedio de cobre al final del experimento superaron (5%) el nivel mínimo considerado adecuado según Puls (1994), pero con 27% de los corderos con concentraciones deficientes del elemento. Los corderos que recibieron el 100% de los requerimientos de minerales traza alcanzaron únicamente el 75% del nivel mínimo considerado adecuado según Puls (1994) y el 93% de los corderos tenían concentraciones deficientes de este elemento. Por lo anterior, se concluye que cuando existe una deficiencia severa de cobre en corderos, la suplementación con el 200% de los requerimientos durante 25 días, seguida por una suplementación con el 100% de los requerimientos durante 35 días adicionales no sería suficiente para corregir la deficiencia de cobre en corderos.

3.4.2 Peso vivo y ganancia diaria de peso

El peso vivo final fue afectado por el suplemento mineral ($p=0.02$). Los corderos que recibieron el suplemento con 200% de los minerales traza más 0.7% de K suplementario tuvieron 29.4 kg de PV, mientras que los corderos suplementados con 100% de los minerales traza presentaron un PV de 24.6 kg. La ganancia diaria de peso se vio afectada por el día del experimento ($p= <.01$), y tendió ($p=0.12$) a ser mejor (51%) en los corderos que recibieron el suplemento con 200% de los minerales traza más 0.7% de K suplementario (Figura 2).

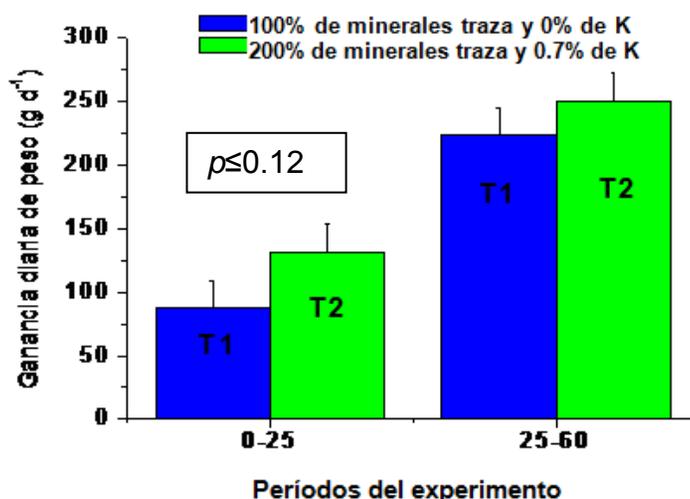


Figura 2. Ganancia diaria de peso de corderos cruzados suplementados del día 0 al 25 y del día 25 al 60 del ensayo.

Los resultados de este ensayo concuerdan con los obtenidos por Hutcheson *et al.*, (1984), quienes obtuvieron en bovinos de carne suplementados con niveles de 1.27 y 1.41 % de K una ganancia diaria de peso 20% superior en comparación con los animales que no fueron suplementados. Sexson *et al.* (2010) realizaron un experimento en el que compararon el comportamiento productivo de ganado de engorda con dos niveles de inclusión: 1.0% y 0.75% de K, encontrando que los animales eran más eficientes ($p= 0.04$) cuando consumieron 1% de potasio.

3.5 Conclusiones

La suplementación con 200% de MT y 0.7% de K suplementario en corderos que entran al corral de engorda intensiva permite corregir parcialmente la deficiencia de Cu, y mejorar la ganancia diaria de peso y el peso final de los corderos. Niveles de 2.1% de K en la dieta de los corderos no afectan las concentraciones séricas de Ca y Mg.

Aportar el doble del requerimiento de Cu ayudó, pero no fue suficiente para la corrección de la deficiencia, la cual se corrigió, parcialmente, hasta el final de la engorda, por lo que se pueden estudiar otras estrategias que permitan una mejor respuesta en los animales antes de finalizar dicho período, como: suplementar el doble del requerimiento durante toda la engorda; dar el 300% del requerimiento durante 25 días; y principalmente evitar que los animales lleguen deficientes a la engorda con una adecuada suplementación mineral a las madres.

3.6 Literatura citada

- Alvear, H., E. 2003. Diagnóstico y suplementación mineral del ganado bovino de Zirándaro, Guerrero. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 124 pp.
- Aguirre, R., C. J., y W. López A. 2004. Estado mineral de bovinos doble propósito bajo pastoreo en Hidalgotitlán, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 43 p.
- AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemist. Arlington Virginia. USA. 853 p.
- Domínguez-Vara, I. A., y M. Huerta-Bravo. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.
- Eckert, G. E., L. W. Greene, G. E. Carstens, and W. S. Ramsey. 1999. Copper status of ewes fed increasing amounts of copper from copper sulfate or copper proteinate. *Journal of Animal Science* 77: 244-249.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, H. P. Miles, S. N. Wilkinson, D. J. Funnk, H. J. Conrad, and R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis para Tejidos de Plantas y Animales. Segunda edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358 p.

- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. 4ª. ed., México, D.F. 217 p.
- Hutcheson, D. P., N. A. Cole, and J. B. McLaren. 1984. Effects of pretransit diets and post transit potassium levels for feeder calves. *Journal of Animal Science* 58: 700-707.
- Hutcheson, D. P., and N. A. Cole. 1986. Management of transit-stress syndrome in cattle: nutritional and environmental effects. *Journal of Animal Science* 62: 555-560.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. ¿Lugar? 10 p.
- Martínez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p
- MacPherson, A. 1984. Long term effectiveness of graded doses of copper oxide needles in suckler cows. *Veterinary Records* 115: 354-355
- McDowell L., R., y J. D. Arthington. 2005. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 4ta Ed. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94 p.
- NRC. 2005. *Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition*. National Academy Press. Washington, D. C., USA. 510 p.
- NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. The National Academies Press. Washington, D. C., USA. 345 p.
- Puls, R. 1994. *Minerals Levels in Animal Health*. Diagnostic data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 250 p.
- SAS Institute. 2004. *SAS User's Guide: Statistics*. Ver 9.1. SAS Institute. Cary, N. C. USA. 5180 p.
- Sexson, J. L., J. J. Wagner., T. E. Engle, and J. W. Spears. 2010. Effects of water quality and dietary potassium on performance and carcass. *Journal of Animal Science* 88: 296-305
- Suttle, N. F., D. G. Jones, C. Woolliams, and J. A. Woolliams. 1987. Heinz body anemia in lambs whit deficiencies of copper or selenium. *British Journal of Nutrition* 58: 539-548.
- Ward, G. M. 1966. Potassium metabolism of domestic ruminants: a review. *Journal of Dairy Science*, 48: 709-718.
- Underwood, E. J., y N. F. Suttle. 2003. *Los Minerales en la Nutrición del Ganado*. Tercera edición. Acribia. Zaragoza, España. 495 p.

4 DESARROLLO DE UNA MEZCLA MINERAL PARA LA RECEPCIÓN DE OVINOS EN EL CORRAL DE ENGORDA. EXPERIMENTO EN CHAPINGO

4.1 Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar el estado mineral, comportamiento productivo e inmunidad humoral de corderos Suffolk y Criollo en engorda intensiva suplementados con dos niveles de minerales traza y potasio. Los corderos utilizados fueron 37, distribuidos en tres bloques, por raza y sexo, los tratamientos usados fueron cuatro: 1) 100% de MT (minerales traza) y 0% de K (potasio), 2) 100% de MT y 0.7% de K, 3) 200% de MT y 0% de K y 4) 200% de MT y 0.7% de K; y se asignaron a cada bloque. Los tratamientos fueron suministrados durante los primeros 29 días del experimento, del día 30 al 60 todos los animales recibieron la misma alimentación y la misma suplementación mineral. Las variables evaluadas fueron ganancia diaria de peso, peso final, consumo de alimento, consumo de alimento expresado en peso metabólico, conversión alimenticia, estado mineral en suero sanguíneo de: calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, cobre, zinc, hierro y selenio, además se midieron títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica*. Los datos fueron analizados como medidas repetidas en el tiempo usando el procedimiento Mixed de SAS. Las concentraciones de Zn y Cu (0.98, 0.96 vs 0.87 y 0.80 mgL⁻¹, $p < 0.01$) fueron superiores en los animales que recibieron el 200% de MT en comparación con los animales que recibieron el 100% de MT. El nivel de potasio suplementario de 0.7% mejoró ($p < 0.05$) la ganancia diaria de peso (350 vs 316 g día⁻¹) y el peso final (42 vs 39 kg) de los animales en comparación con aquellos que recibieron 0% de K. Los títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica* fueron superiores (0.58, 0.65 vs 0.23, 0.27, $p \leq 0.01$) en los animales que recibieron 200% de MT. La concentración sérica de calcio y magnesio no se vio afectada en los animales que recibieron el doble de MT y 0.7% de K suplementario, a pesar de que la dieta de estos corderos tuvo un poco más del máximo tolerable de potasio (2.2%).

Palabras clave: corderos, engorda, minerales traza, potasio.

DEVELOPMENT OF A MINERAL MIXTURE FOR RECEPTION OF LAMBS IN THE FEEDLOT. EXPERIMENT IN CHAPINGO

4.2 Abstract

The objective of this study was to evaluate the mineral status, growth performance and humoral immunity in Creole and Suffolk lambs under intensive fattening, supplemented with two levels of trace minerals and potassium. Thirty seven lambs were distributed into three blocks, by race and sex. Treatments evaluated were: 1) 100% of MT (trace minerals) and 0% K (potassium), 2) 100% of MT and 0.7% K, 3) 200% of MT and 0% K and 4) 200% of MT and 0.7% K, and were assigned to each block. Treatments diets were given during the first 29 days of the experiment; between days 30 to 60, all animals received the same diet and mineral supplementation. The variables evaluated were average daily gain, final weight, feed intake, feed efficiency, and serum mineral concentration for: calcium, magnesium, sodium, potassium, phosphorus, copper, zinc, iron, and selenium. In addition, antibody titers were measured against A1 and A2 serotypes of *Mannheimia haemolytica*. Data were analyzed as repeated measures in time using the Mixed procedure of SAS. The concentrations of Zn and Cu (0.98, 0.96 vs 0.87 and 0.80 mg L⁻¹, $p \leq 0.01$) were higher in animals that received 200% of MT compared to animals that received 100% of MT. The potassium level of 0.7% improved ($p \leq 0.05$) daily weight gain (350 vs 316 g day⁻¹) and final weight (42 vs 39 kg) of the animals compared to animals receiving 0% K. Antibody titers against A1 and A2 serotypes of *Mannheimia haemolytica* were higher (0.58, 0.65 vs 0.23, 0.27, $p \leq 0.01$) in animals receiving 200% of MT; serum concentrations of calcium and magnesium were not affected in animals receiving twice MT and 0.7% supplemental K, although the diet of these lambs had a little more than the maximum tolerable potassium (2.2%).

Keywords: lambs, intensive fattening, trace minerals, potassium.

4.3 Introducción

Los ovinos en México en su mayoría son producidos en sistemas de pastoreo extensivo, con pastos nativos y subproductos agrícolas, donde la principal limitante es la cantidad de forraje disponible, situación que favorece la incidencia de deficiencias nutricionales, en particular de minerales. Huerta (1997) menciona que diversas regiones de México presentan deficiencias naturales de minerales, problemas que se agravan porque algunos ovinocultores no proporcionan sales minerales; mientras que otros usan suplementación mineral incorrecta.

En la engorda de ovinos en corral, uno de los momentos clave es la recepción, debido al estrés producto del cambio de dieta, manejo y deshidratación; factores que en conjunto favorecen la mortalidad en los corrales de engorda. Hutcheson y Cole (1986) mencionan que los cambios a los que se ve expuesto el animal alteran sus requerimientos nutricionales; la interrelación nutrición, ambiente y estrés se deben considerar para seleccionar las prácticas más adecuadas de manejo. Adicionalmente, los animales que llegan al corral de engorda pueden tener deficiencias minerales, situación que se puede complicar si se considera que en la engorda intensiva las dietas están basadas en cereales, los cuales son deficientes en minerales como calcio, sodio, potasio, cobre, zinc y cobalto (NRC, 2007).

Un beneficio de los minerales traza es que promueven el desarrollo del sistema inmune en animales en crecimiento (Cunningham-Rundles *et al.*, 2005). La secreción de anticuerpos tras la vacunación en los animales jóvenes puede verse perturbada por deficiencias maternas de zinc, hierro, cobre, selenio y magnesio (Miller, 1985). La dosis de minerales traza necesarias para promover una adecuada función del sistema inmune, pueden llegar a ser mayores a las habituales, en especial en animales con deficiencias minerales.

Actualmente en el mercado no hay una formulación mineral para corderos durante la recepción a su ingreso al corral de engorda, por ello el objetivo de este trabajo fue formular, elaborar y evaluar un suplemento mineral para la recepción de ovinos en engorda intensiva.

4.4 Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el módulo de ovinos y caprinos de la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo ubicada en el Km. 38.5 de la carretera federal México-Texcoco, en el Estado de México. Texcoco está ubicado al oriente del estado, sus coordenadas geográficas son $19^{\circ}29'N$ y $98^{\circ}53'W$, a una altitud de 2250 m, su clima se considera templado semiseco, con fórmula climática $C (W_o)(W)b(i')g$ con una temperatura media anual de $15,9^{\circ}C$ y una precipitación media anual de 686 mm (García, 1988).

Características de los animales y duración de la fase experimental

Se utilizaron 37 corderos de dos meses de edad provenientes de la granja donde se realizó el experimento, 23 de la raza Suffolk (20 ± 10 kg) y 14 Criollos (18 ± 4 kg). El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar, el criterio para los bloques fue raza y sexo de los animales. Los corderos se asignaron a uno de cuatro tratamientos, distribuidos en 3 bloques, el primer bloque fue de hembras Suffolk, el segundo fue de machos Suffolk, y el tercero fue de machos Criollos.

En cada bloque hubo cuatro tratamientos, el primer tratamiento ($n=9$) consistió en un suplemento mineral con 100% de los requerimientos de minerales traza (MT) de los animales y 0% de potasio suplementario, en el segundo ($n=9$) los animales recibieron un suplemento mineral con el 100% de los requerimientos de minerales traza (MT) de los animales y 0.7% de potasio suplementario, el tratamiento tres ($n=11$) consistió en una mezcla mineral que tuvo el doble del

requisito de MT y 0 % K suplementario y el tratamiento cuatro (n=8) fue una mezcla mineral con el doble del requisito de MT y 0.7 % K suplementario. Los tratamientos fueron suministrados durante los primeros 29 días del experimento y del día 30 al día 60 del experimento todos los animales recibieron la misma alimentación y suplementación mineral.

Manejo y alimentación de los animales

Los animales fueron alojados en corrales de cemento, al inicio del estudio fueron desparasitados con una dosis subcutánea (1mL) de ivermectina (IVOMEC®, Merial, México) y vacunados con una dosis subcutánea (2mL) contra *Pasteurella multocida* y *Mannheimia haemolytica* (biológico, INIFAP*). La alimentación que se proporcionó consistió en una dieta base (Cuadro 10), a la cual se agregaron los minerales correspondientes a cada tratamiento. Se registró el consumo de alimento semanalmente, los animales fueron pesados al día 0, 29 y 60 del experimento, los días de pesaje se tomaron muestras de sangre por punción en la vena yugular.

Análisis y manejo de las muestras

Cada semana se tomaron muestras de agua y alimento. Las muestras de sangre se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 minutos, se separó el suero y después se refrigeró a -20°C para su posterior procesamiento. El suero, alimento y agua fueron analizados para determinar su concentración de Ca, P, Na, K, Mg, Cu, Zn, Se y Fe utilizando para su procesamiento los métodos descritos por Fick *et al.* (1979). Además parte del suero fue utilizado para realizar pruebas inmunológicas para conocer los niveles de anticuerpos de los animales; se realizaron pruebas de inhibición de la hemoaglutinación (AOAC, 1995), para determinar los niveles de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica*.

* Vacuna elaborada y donada por el Dr. Francisco Morales director del laboratorio de Diagnóstico Veterinario del CENID-Microbiología Animal, del INIFAP de Palo Alto.

Cuadro 11. Dieta experimental suministrada a corderos en la Granja Experimental de la UACH.

Ingrediente	Dieta experimental ^{z, y}
	Porcentaje (base seca)
Heno de avena	19.45
Pasta de Soya	15.00
Sorgo	61.00
Harina de pescado	2.00
Levadura	0.01
Premezcla de vitaminas	0.15
Urea	1.00
Sal común	0.50
Premezcla de minerales traza ^{z, x}	0.05 y 0.1
Carbonato de calcio	1.40
Cloruro de potasio ^y	0.00 y 0.70
<u>Contenido nutrimental^w</u>	
Proteína cruda, %	17.50
Energía metabolizable, Mcal/kg	2.68
Calcio, %	0.78
Fósforo, %	0.36
Magnesio, %	0.30
Potasio, %	1.50
Sodio, %	0.85
Cobre, mg kg ⁻¹	11.00
Zinc, mg kg ⁻¹	40.00
Hierro, mg kg ⁻¹	21.00
Selenio, mg kg ⁻¹	0.20

^z Los animales de los tratamientos 3 y 4 recibieron el doble de premezcla de minerales traza (0.10).

^y Los animales de los tratamientos 2 y 4 recibieron 0.07% de potasio suplementario. ^x La composición de la premezcla de minerales traza (mg/kg) fue: cobalto, 400; cobre, 10,000; yodo, 1,600; manganeso, 20,000; selenio, 593; y zinc, 100,000. ^w La proteína cruda y los minerales fueron analizados en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes de la UACH, mientras que la energía metabolizable fue calculada.

Las técnicas utilizadas para analizar los minerales fueron: para Ca, Na, K, Mg, Cu, Zn y Fe se hicieron las determinaciones por medio de espectrofotometría de absorción atómica, con un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700 (Perkin Elmer), P se analizó por el método colorimétrico (AOAC, 1995), usando un espectrómetro UV/VIS modelo Lambda 2 (Perkin Elmer), la

determinación de Se fue realizada por espectrofluorometría (AOAC,1995), usando un espectrómetro de luminiscencia modelo LS30 (Perkin Elmer).

4.4.1 Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron las concentraciones en suero sanguíneo de Cu, Fe, Zn, Se, Ca, Mg, K, Na y P medidas a los días 29 y 60 de iniciado el ensayo; las variables de comportamiento productivo; peso vivo (PV), ganancia diaria de peso (GDP) en las diferentes etapas del experimento, consumo de materia seca (CMS y CMSPM), (g/día y g/kg de PM), conversión alimenticia (CA) y títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica*.

4.4.2 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados como medidas repetidas en el tiempo usando el procedimiento Mixed de SAS (SAS, 2004). Los efectos fijos fueron día y tratamiento. El efecto aleatorio fue cordero dentro de tratamiento. Se utilizó la estructura de covarianza simetría compuesta (CS), la cual fue seleccionada con base al criterio de Akaike's AIC (SAS, 2004). El peso vivo inicial de los corderos fue utilizado como covariable. Las interacciones no significativas fueron removidas del modelo.

Para los niveles de minerales en sangre de muestras tomadas a los días 0, 29 y 60 se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 3, los factores fueron potasio suplementario (0% y 0.7%), MT (100% y 200%), día (0,29 y 60) y las interacciones de los tres factores. La concentración mineral del día 0 fue utilizada como covariable, debido a que los animales recibieron durante 14 días previos las dietas experimentales.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijklm}: \mu + B_i + K_j + MT_k + T_l + KMT_{jk} + a(KMT)_{jkm} + KT_{jl} + MTT_{kl} + MTKT_{jkl} + \beta_1 mti_n + \epsilon_{ijklmn}$$

Y_{ijklm} : concentración mineral en suero sanguíneo

μ : media general

B_i : efecto fijo del i-ésimo bloque ($i=1, \dots, 3$)

K_j : efecto fijo del j-ésimo nivel de potasio ($j=1, \dots, 2$)

MT_k : efecto fijo del k-ésimo nivel de minerales traza ($k=1, \dots, 2$)

T_l : efecto fijo del l-ésimo tiempo ($l=1, \dots, 3$)

KMT_{jk} : efecto fijo de la jk-ésima interacción potasio*minerales traza

$a(KMT)_{jkm}$: efecto aleatorio del m-ésimo animal dentro de la interacción potasio*minerales traza

KT_{jl} : efecto fijo de la jl-ésima interacción potasio*tiempo

MT_{kl} : efecto fijo de la kl-ésima interacción minerales traza*tiempo

$MTKT_{jkl}$: efecto fijo de la jkl-ésima interacción potasio*minerales traza*tiempo

β_1 : coeficiente de regresión para la covariable concentración mineral inicial

mti_n : Efecto fijo de la covariable concentración mineral inicial

ϵ_{ijklmn} : error aleatorio.

Para el análisis de ganancia de peso por periodo y peso se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 3;

Los factores fueron potasio suplementario (0% y 0.7%), MT (100% y 200%), día (0,29 y 60) y las interacciones de los tres factores. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijklm}: \mu + B_i + K_j + MT_k + T_l + KMT_{jk} + a(KMT)_{jkm} + KT_{jl} + MTT_{kl} + MTKT_{jkl} + \beta_1 p_{in} + \epsilon_{ijklmn}$$

Y_{ijklm} : peso y ganancia diaria de peso por periodo

μ : media general

B_i : efecto fijo del i-ésimo bloque ($i=1, \dots, 3$)

K_j : efecto fijo del j-ésimo nivel de potasio ($j=1, \dots, 2$)

MT_k : efecto fijo del k-ésimo nivel de minerales traza ($k=1, \dots, 2$)

T_l : efecto fijo del l-ésimo tiempo ($l=1, \dots, 3$)

KMT_{jk} : efecto fijo de la jk-ésima interacción potasio*minerales traza

$a(KMT)_{jkm}$: efecto aleatorio del m-ésimo animal dentro de la interacción potasio*minerales traza

KT_{jl} : efecto fijo de la jl-ésima interacción potasio*tiempo

MTT_{kl} : efecto fijo de la kl-ésima interacción minerales traza*tiempo

$MTKT_{jkl}$: efecto fijo de la jkl-ésima interacción potasio*minerales traza*tiempo

β_1 : coeficiente de regresión para la covariable peso inicial

p_{in} : Efecto fijo de la covariable del peso inicial

ϵ_{ijklmn} : error aleatorio.

Para el análisis de consumo de alimento y conversión alimenticia se consideró como unidad experimental el corral, se utilizó el diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 3; los factores fueron potasio suplementario (0% y 0.7%), MT (100% y 200%), día (0,29 y 60) y las interacciones de los tres factores. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl}: \mu + B_i + K_j + MT_k + T_l + KMT_{jk} + KT_{jl} + MTT_{kl} + MTKT_{jkl} + \epsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} : consumo de alimento y conversión alimenticia

μ : media general

B_i : efecto fijo del i-ésimo bloque ($i=1, \dots, 3$)

K_j : efecto fijo del j-ésimo nivel de potasio ($j=1, \dots, 2$)

MT_k : efecto fijo del k-ésimo nivel de minerales traza ($k=1, \dots, 2$)

T_l : efecto fijo del l-ésimo tiempo ($l=1, \dots, 3$)

KMT_{jk} : efecto fijo de la jk-ésima interacción potasio*minerales traza

KT_{jl} : efecto fijo de la jl-ésima interacción potasio*tiempo

MTT_{kl} : efecto fijo de la kl-ésima interacción minerales traza*tiempo

$MTKT_{jkl}$: efecto fijo de la jkl-ésima interacción potasio*minerales traza*tiempo

ϵ_{ijkl} : error experimental

Para el análisis de títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica* los datos fueron transformados a logaritmo en base 10 para su análisis. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 3; Los factores fueron potasio suplementario

(0% y 0.7%), MT (100% y 200%), día (0,29 y 60) y las interacciones de los tres factores. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl}: \mu + B_i + K_j + MT_k + T_l + KMT_{jk} + a(KMT)_{jkm} + KT_{jl} + MTT_{kl} + MTKT_{jkl} + \epsilon_{ijklm}$$

Y_{ijkl} : títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica*

μ : media general

B_i : efecto fijo del i-ésimo bloque ($j=1, \dots, 3$)

K_j : efecto fijo del j-ésimo nivel de potasio ($i=1, \dots, 2$)

MT_k : efecto fijo del k-ésimo nivel de minerales traza ($i=1, \dots, 2$)

T_l : efecto fijo del l-ésimo tiempo ($i=1, \dots, 3$)

KMT_{jk} : efecto fijo de la jk-ésima interacción potasio*minerales traza

$a(KMT)_{jkm}$: efecto aleatorio del m-ésimo animal dentro de la interacción potasio*minerales traza

KT_{jl} : efecto fijo de la jl-ésima interacción potasio*tiempo

MTT_{kl} : efecto fijo de la kl-ésima interacción minerales traza*tiempo

$MTKT_{jkl}$: efecto fijo de la jkl-ésima interacción potasio*minerales traza*tiempo

ϵ_{ijklm} : error experimental

4.5 Resultados y Discusión

4.5.1 Estado mineral y su calificación en los corderos

El estado inicial y la calificación de la concentración mineral en suero sanguíneo de los animales se presenta en el Cuadro 12. La mayoría de los corderos

tuvieron concentraciones de Ca, Mg, P y Se dentro del rango normal según lo reportado por Puls (1994). El 46%, 35% y 60% de los animales tuvieron niveles bajos de sodio, cobre y zinc; mientras que las concentraciones potasio y hierro se encontraron excesivos en 57% y 43%, (Puls, 1994).

Cuadro 12. Estado mineral inicial y su calificación, en los corderos engordados la Granja Experimental de la UACH

Minerales en suero sanguíneo de ovinos mg/ L ⁻¹			Calificación del estado mineral inicial, porcentaje de ovinos		
Mineral	Estado inicial	Rango normal ^z	Adecuados	Deficientes	Excesivos
Calcio	94	80 a 130	97	0	3
Magnesio	23	20 a 35	97	3	0
Fósforo	65	40 a 80	86	0	14
Sodio	3053	3100 a 3450	43	46	11
Potasio	218	160 a 215	38	5	57
Cobre	0.78	0.7 a 2.0	65	35	0
Zinc	0.74	0.8 a 1.2	40	60	0
Hierro	2.2	1.66 a 2.22	52	5	43
Selenio	151.5	90 a 300 ngL ⁻¹	100	0	0

^zPuls, 1994.

Las concentraciones altas de K y Fe se pueden explicar porque son minerales que se encuentran dentro de la célula (Underwood y Suttle, 2003), la deficiencia de Cu y Zn puede provocar un daño oxidativo de la membrana celular liberando el K y Fe del interior de los eritrocitos (Kincaid, 1999; O' Dell, 2000). En el Cuadro 13 se muestra el nivel de significancia de los factores evaluados con respecto a la concentración mineral en suero sanguíneo de los animales. El potasio suplementario no afectó ($p < 0.05$) las concentraciones de los minerales, las concentraciones de Zn, Cu y Na fueron afectadas ($p < 0.05$) por el nivel de minerales traza (MT).

El factor tiempo afectó ($p < 0.05$) las concentraciones de Zn, Cu, Ca, Na y Se. La covariable estado inicial de las concentraciones de minerales fue significativa ($p < 0.05$) para casi todos los minerales medidos, excepto en la concentración de potasio.

La mayoría de las interacciones de los efectos no fueron significativas, a excepción de la interacción de MT*Día que afectó la concentración de cobre (Cuadro 13; Figura 3). La concentración mineral en suero sanguíneo en los diferentes días del experimento se presenta en el Cuadro 14. Los valores de Zn, Cu, Ca, Na y Se tuvieron cambios significativos ($p < 0.05$) a través del tiempo, los cuales aumentaron. Las concentraciones de Fe, Mg, K, y P no tuvieron cambios significativos a través del tiempo.

Cuadro 13. Probabilidad del nivel de K, MT y día sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de corderos

Mineral	Fuentes de variación							
	K	MT	Día	Día*K	Día*MT	K*MT	K*MT*Día	Covariable ^x
Zn	0.15	0.01	<.01	NS	NS	NS	NS	<.01
Cu	0.05	<.01	<.01	NS	<.01	NS	NS	<.01
Fe	0.5	0.44	0.1	NS	NS	NS	NS	<.01
Ca	0.06	0.13	0.01	NS	NS	NS	NS	0.01
Mg	0.19	0.32	0.97	NS	NS	NS	NS	<.01
K	0.39	0.57	0.35	NS	NS	NS	NS	NS
Na	0.22	0.01	0.04	NS	NS	NS	NS	0.01
P	0.88	0.96	0.32	NS	NS	NS	NS	0.01
Se	0.48	0.64	0.01	NS	NS	NS	NS	<.01

^x Concentración mineral inicial

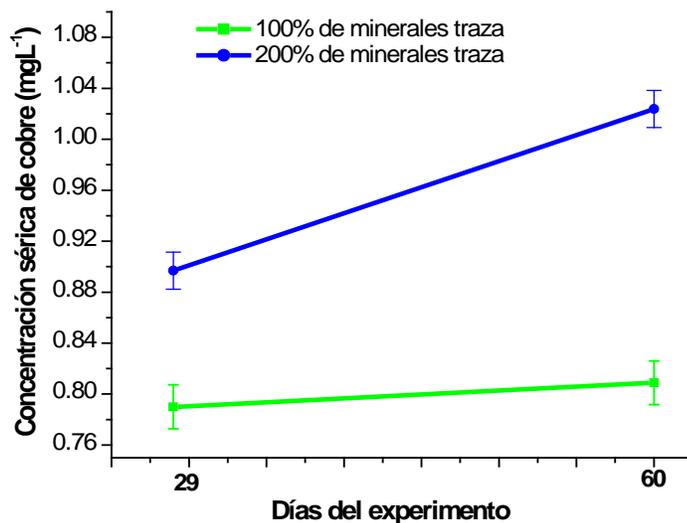


Figura 3. Efecto de la interacción de MT y día sobre la concentración sérica de cobre mgL⁻¹.

Cuadro 14. Concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH, en las diferentes etapas del experimento y nivel de significancia (p) de las diferencias

Mineral	Día 29 ^z	Día 60 ^z	p	EEM ^y
Zinc mgL ⁻¹	0.89 ^a	0.96 ^b	0.01	0.02
Cobre mgL ⁻¹	0.84 ^a	0.92 ^b	<.01	0.01
Hierro mgL ⁻¹	2.1 ^a	1.9 ^a	0.10	0.08
Calcio mgL ⁻¹	93 ^a	98 ^b	0.01	1.90
Magnesio mgL ⁻¹	24 ^a	24 ^a	0.50	1.00
Potasio mgL ⁻¹	234 ^a	240 ^a	0.40	6.40
Sodio mgL ⁻¹	3189 ^a	3324 ^b	0.04	63.20
Fósforo mgL ⁻¹	69 ^a	70 ^a	0.30	1.30
Selenio ngL ⁻¹	152 ^a	156 ^b	0.01	1.03

^zMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^yEEM= Error Estándar de la Media

El efecto del nivel de mezcla mineral en la concentración mineral en el suero sanguíneo se presenta en el Cuadro 15. Las concentraciones de Cu y Zn fueron superiores ($p < 0.05$) en los animales que recibieron 200% de MT, el aumento en la concentración de zinc y cobre se explica por el alto contenido del mineral en el suplemento que recibieron.

Cuadro 15. Efecto del nivel de la mezcla mineral sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH y nivel de significancia de las diferencias.

Mineral	MT 100 ^z	MT 200 ^z	p	EEM ^y
Zinc mgL ⁻¹	0.87 ^a	0.98 ^b	0.01	0.04
Cobre mgL ⁻¹	0.80 ^a	0.96 ^b	<.01	0.02
Hierro mgL ⁻¹	2.1 ^a	1.9 ^a	0.44	0.15
Calcio mgL ⁻¹	94 ^a	97 ^a	0.10	2.4
Magnesio mgL ⁻¹	23 ^a	24 ^a	0.30	0.5
Potasio mgL ⁻¹	240 ^a	234 ^a	0.60	10.3
Sodio mgL ⁻¹	3363 ^a	3151 ^b	0.01	75.9
Fósforo mgL ⁻¹	69 ^a	70 ^a	1.00	4.1
Selenio ngL ⁻¹	153 ^a	155 ^a	0.60	3.7

^zMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^yEEM= Error Estándar de la Media.

Resultados similares fueron encontrados por Eckert *et al.* (1999), quienes señalan que al suplementar ovejas con 10 y 20 mg Cu kg en dieta mejoran las

concentraciones de Cu (27 vs 65%) en suero y se mantiene dentro del rango adecuado tres meses después. Los valores de Fe, Ca, Mg, K y P no se vieron afectados por el nivel de minerales traza. En el Cuadro 16 se muestra el efecto del nivel de potasio sobre la concentración mineral, el cual no tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) en los minerales medidos.

Cuadro 16. Efecto del nivel de potasio sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH y nivel de significancia (p) de las diferencias

Mineral	K 0% ^z	K 0.7% ^z	p	EEM ^y
Zinc mgL ⁻¹	0.95 ^a	0.89 ^a	0.15	0.04
Cobre mgL ⁻¹	0.90 ^a	0.86 ^a	0.053	0.02
Hierro mgL ⁻¹	1.9 ^a	2.1 ^a	0.50	0.16
Calcio mgL ⁻¹	93 ^a	98 ^a	0.06	2.4
Magnesio mgL ⁻¹	23 ^a	24 ^a	0.20	0.5
Potasio mgL ⁻¹	233 ^a	242 ^a	0.40	10.2
Sodio mgL ⁻¹	3208 ^a	3305 ^a	0.20	78.1
Fósforo mgL ⁻¹	70 ^a	69 ^a	0.90	3.6
Selenio ng L ⁻¹	153 ^a	155 ^a	0.50	3.8

^zMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^yEEM= Error Estándar de la Media.

En el Cuadro 17 se muestra el estado final y calificación del estado mineral de los corderos, las concentraciones de Ca, Mg y Se estuvieron dentro del rango normal sugerido por Puls (1994). La concentración de Ca y Mg no fue afectada por niveles altos de K (Cuadro 17), los niveles de ambos minerales permanecieron dentro del rango normal sugerido por Puls (1994). El NRC (2005) señala que el nivel máximo tolerable de K para rumiantes es de 2% en la dieta, sin embargo, los corderos del tratamiento dos recibieron 2.1% de K en su dieta y las concentraciones de Mg y Ca no fueron afectadas.

Cuadro 17. Estado mineral final y su calificación, de los corderos engordados la Granja Experimental de la UACH

Minerales en suero sanguíneo de ovinos mg/ L ⁻¹			Calificación del estado mineral final, porcentaje de ovinos		
Mineral	Estado final	Rango normal ^z	Adecuados	Deficientes	Excesivos
Calcio	99	80 a 130	100	0	0
Magnesio	23	20 a 35	100	0	0
Fósforo	68	40 a 80	76	0	24
Sodio	3234	3100 a 3450	40	38	22
Potasio	235	160 a 215	32	0	68
Cobre	0.93	0.7 a 2.0	92	8	0
Zinc	0.96	0.8 a 1.2	86	14	0
Hierro	2.0	1.66 a 2.22	60	32	8
Selenio	156	90 a 300 ngL ⁻¹	100	0	0

^z Puls, 1994.

4.5.2 . Peso, ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia.

En el Cuadro 18 se presenta el nivel de significancia para peso, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, consumo de alimento expresado en peso metabólico y conversión alimenticia. El peso final, la ganancia de peso promedio por periodo y la ganancia de peso del día 0 al 60 fueron afectados ($p < 0.05$) por el nivel de potasio.

Cuadro 18. Probabilidad del nivel de K, MT y día sobre el peso final, GDP promedio por periodo, GDP del periodo 0-60, CMS, CMS/PM y CA

Variable	Fuentes de variación								
	K	MT	Día	Bloque	Día*K	Día*MT	K*MT	K*MT*Día	Covariable ^z
Peso final	0.01	0.22	<.01	<.01	NS	NS	NS	NS	<.01
GDP promedio por periodo	0.02	0.30	0.39	<.01	NS	NS	NS	NS	NS
GDP 0-60	0.01	0.16	0.97	<.01	NS	NS	NS	NS	0.01
CMS	0.05	0.55	<.01	0.01	NS	NS	NS	NS	---
CMS/PM	1.00	0.79	0.01	0.01	NS	NS	NS	NS	---
CA	0.14	0.40	0.01	<.01	NS	NS	NS	NS	---

^z Peso inicial

Ninguna de las interacciones fue significativa en las variables estudiadas, por lo que se presentan los efectos principales únicamente.

En el Cuadro 19, se presentan las variables de comportamiento productivo evaluadas en las diferentes etapas del experimento, las variables que tuvieron cambios significativos ($p < 0.05$) a través del tiempo fueron el peso final, consumo de alimento, consumo de alimento expresado en peso metabólico y conversión alimenticia.

Cuadro 19. Comportamiento productivo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH, en las diferentes etapas del experimento y nivel de significancia (p) de las diferencias

Variable	Período 0-29 ^z	Período 30-60 ^z	p	EEM ^y
Peso final ,kg	29 ^a	40 ^b	<.01	0.5
Ganancia de peso promedio por periodo, g/día	327 ^a	339 ^a	0.40	13.2
Ganancia de peso promedio por toda la engorda, g/día	326 ^a	326 ^a	1.0	6.6
Consumo de alimento, g/día	1.2 ^a	1.4 ^b	<.01	0.02
Consumo de alimento/ PM, kg/kg de peso metabólico	0.104 ^a	0.092 ^b	0.01	0.01
Conversión alimenticia, CMS g/g de GDP	3.61 ^a	4.08 ^b	0.01	0.10

^zMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^yEEM= Error Estándar de la Media.

El efecto del potasio en el comportamiento productivo se muestra en el Cuadro 20. El nivel de potasio suplementario de 0.7% mejoró ($p < 0.05$) la ganancia diaria de peso y el peso final de los animales, en comparación de los animales que recibieron 0% de K. Jackson *et al.* (1971) encontraron que niveles altos de potasio reducen la retención de energía por unidad de peso vivo, esta menor retención de energía significa que los animales pueden llegar a ser más eficientes, la energía que no es utilizada por la célula, podría ser utilizada para incrementar la ganancia de peso.

Los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos por Hutcheson *et al.* (1984) los cuales obtuvieron en bovinos de carne suplementados con niveles de 1.27 y 1.41% de K una ganancia diaria de peso 20% superior en comparación a los animales que no fueron suplementados. Sexson *et al.* (2010)

realizaron un experimento en el que comparaban el comportamiento productivo de ganado de engorda con dos niveles de inclusión, 1 % y 0.75 % de K, encontrando que los animales eran más eficientes ($p= 0.04$) cuando los animales consumieron 1% de potasio.

Cuadro 20. Efecto del nivel de potasio sobre el comportamiento productivo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH y nivel de significancia (p) de las diferencias

Variable	K 0% ^z	K 0.7% ^z	p	EEM ^y
Peso final ,kg	39 ^a	42 ^b	0.01	0.64
Ganancia de peso promedio por periodo, g/día	316 ^a	350 ^b	0.03	15.79
Ganancia de peso promedio por toda la engorda, g/día	309 ^a	343 ^b	0.01	13.41
Consumo de alimento, kg/día	1.24 ^a	1.3 ^a	0.05	0.03
Consumo de alimento/ PM, kg/kg de peso metabólico	0.098 ^a	0.098 ^a	1.00	0.002
Conversión alimenticia CMS g/g de GDP	3.93 ^a	3.76 ^a	0.14	0.11

^zMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p\leq 0.05$).

^yEEM= Error Estándar de la Media.

En el Cuadro 21 se presenta el efecto del nivel de minerales traza en el comportamiento productivo de los animales, en ninguna de las variables estudiadas hubo diferencias significativas por efecto de los MT, estos resultados coinciden con los de Durán y López (2007), quienes evaluaron la ganancia de peso en ovinos en crecimiento suplementados con cobre, en el experimento se mejoró la concentración sérica de cobre, aumentando en un 57% y 97% en machos y hembras, respectivamente, entre el inicio y el final del ensayo.

Además no hubo diferencias significativas ($p<0.05$) en la ganancia de peso y peso de los animales con los tratamientos estudiados. En contraste en un estudio realizado por Dean *et al.* (1997) midieron el efecto de la suplementación mineral sobre el desarrollo corporal de corderos mestizos, concluyendo que la suplementación mineral mejoró en 60% la tasa de ganancia de peso y 50% las medidas zoométricas de los ovinos.

Cuadro 21. Efecto del nivel de mezcla mineral sobre el comportamiento productivo de corderos engordados en la Granja Experimental de la UACH y nivel de significancia (p) de las diferencias.

Variable	MT 100 ^z	MT 200 ^z	p	EEM ^y
Peso final ,kg	40 ^a	39 ^a	0.2	0.6
Ganancia de peso promedio por periodo, g/día	341 ^a	325 ^a	0.3	15.7
Ganancia de peso promedio por toda la engorda, g/día	334 ^a	319 ^a	0.3	13.4
Consumo de alimento, g/día	1.3 ^a	1.3 ^a	0.5	0.03
Consumo de alimento/ PM, kg/kg de peso metabólico	0.098 ^a	0.097 ^a	0.8	0.002
Conversión alimenticia, CMS g/g de GDP	3.80 ^a	3.89 ^a	0.4	0.11

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM= Error Estándar de la Media.

4.5.3 Títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica*

En el Cuadro 22 se muestra el nivel de significancia de los factores evaluados con respecto a los títulos de anticuerpos contra los antígenos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica*. El efecto de minerales traza fue significativo para los títulos de anticuerpos de ambos serotipos, el efecto del bloque fue significativo para el serotipo A2 y la interacción de minerales traza por potasio fue significativa para el serotipo A2.

Cuadro 22. Probabilidad del nivel de K, MT y día sobre los títulos de anticuerpos contra los serotipos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica* medidos en los ovinos del experimento

Variable	Fuentes de variación							
	K	MT	Día	Bloque	Día*K	Día*MT	K*MT	K*MT*Día
Antígeno A1	0.33	<.01	0.09	0.46	NS	NS	NS	NS
Antígeno A2	0.15	<.01	0.60	0.02	NS	NS	0.03	NS

En el Cuadro 23 se presenta el efecto del nivel de potasio, minerales traza y tiempo sobre los títulos de anticuerpos contra el antígeno A1 de *Mannheimia haemolytica*. El nivel de minerales traza fue significativo ($p < 0.05$), los títulos de

anticuerpos fueron mayores en los animales que recibieron 200% de MT, los efectos de nivel de potasio y tiempo no fueron significativos.

Cuadro 23. Efecto del nivel de potasio, minerales traza y tiempo sobre la cantidad de anticuerpos contra el antígeno A1 de *Mannheimia haemolytica*.

Variable	Antígeno ^z A1 ^y	p	EEM ^x
Efecto principal de potasio			
K 0%	0.45 ^a	0.33	0.09
K 0.7%	0.36 ^a		
Efecto principal de minerales traza			
MT 100%	0.23 ^a	<0.01	0.09
MT 200%	0.58 ^b		
Efecto principal de tiempo			
Día 29	0.36 ^a	0.09	0.04
Día 60	0.44 ^a		

^zTítulos de anticuerpos contra el antígeno A1 de *Mannheimia haemolytica*, los datos de títulos de anticuerpos fueron transformados al logaritmo en base 10, para ser analizados.

^yMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^xEEM= Error Estándar de la Media.

En el Cuadro 24 se presenta el efecto del nivel de potasio, minerales traza y tiempo en los títulos de anticuerpos contra el antígeno A2 de *Mannheimia haemolytica*. El nivel de minerales traza fue significativo ($p \leq 0.05$), los títulos de anticuerpos fueron mayores en los animales que recibieron 200% de MT, el efecto del nivel de potasio y tiempo no fueron significativos.

Los resultados de este estudio indican que el nivel de MT puede ayudar a mejorar la respuesta humoral de los animales. De manera similar, Miller (1985) menciona que la secreción de anticuerpos tras la vacunación en los animales jóvenes puede verse perturbada por deficiencias maternas de zinc, hierro, cobre, selenio y magnesio. Por su parte, Galyean *et al.* (1999) observaron en ensayos de campo una disminución en la morbilidad de la enfermedad bovina respiratoria (EBR) al adicionar Zn, Cu, Se y Cr, lo que sugiere que estos pueden alterar la función inmune de los terneros que entran al corral de engorda.

Cuadro 24. Efecto del nivel de potasio, minerales traza y tiempo sobre la cantidad de anticuerpos contra el antígeno A2 de *Mannheimia haemolytica*.

Variable	Antígeno ^z A2 ^y	<i>p</i>	EEM ^x
Efecto principal de potasio			
K 0%	0.40 ^a	0.15	0.09
K 0.7%	0.53 ^a		
Efecto principal de minerales traza			
MT 100%	0.27 ^a	<.01	0.09
MT 200%	0.65 ^b		
Efecto principal de tiempo			
Día 29	0.45 ^a	0.59	0.02
Día 60	0.47 ^a		

^zTítulos de anticuerpos contra el antígeno A2 de *Mannheimia haemolytica*, los datos de títulos de anticuerpos fueron transformados al logaritmo en base 10, para ser analizados.

^yMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^xEEM= Error Estándar de la Media.

Reffett *et al.* (1988) encontraron en corderos suplementados con Se un aumento en la actividad de la GSH-Px y un incremento en los títulos de inmunoglobulina M (IgM) desafiados con el virus de parainfluenza tipo 3, en comparación con el grupo control. En contraste, Nunnery *et al.* (2007) realizaron dos experimentos probando diferentes niveles y fuentes de zinc suplementario en novillos que entraban al periodo de recepción a la engorda, la respuesta humoral de los animales se determinó mediante la medición de títulos de anticuerpos específicos después de ser inoculados con inyección de ovoalbúmina, no encontraron diferencias significativas entre las diferentes fuentes de zinc y niveles de zinc, la respuesta fue similar entre animales suplementados y no suplementados con zinc.

4.6 Conclusiones

La suplementación con el 200% de MT mejoró el estado mineral de Cu y Zn en suero sanguíneo, y aumentó anticuerpos contra los antígenos A1 y A2 de *Mannheimia haemolytica*. La suplementación con 0.7% de K suplementario en

corderos que entran al corral de engorda intensiva mejora la ganancia diaria de peso y el peso final de los animales suplementados.

4.7 Literatura citada

- AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemist. Arlington Virginia. USA. 853 p.
- Cunningham, J. G. 2003. Fisiología Veterinaria. Tercera edición. Elsevier, España. Madrid, España. 583 p.
- Cunningham-Rundles, S., D. F McNealey, A. Moon. 2005. Mechanisms of nutrient modulation of the immune response. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 115: 1119-1128.
- Dean, D., S. Miranda, M. Ventura, R. López, and A. Quintero. 1997. Effect of the supplementation with different mineral sources on the body development of crossbred lambs. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 5(2): 229-231.
- Duran, L. J., y O. V. López, M. 2007. Suplementación mineral de corderos. Tesis de licenciatura. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp: 12-38.
- Eckert, G. E., L. W. Greene, G. E. Carstens, and W. S. Ramsey. 1999. Cooper status of ewes fed increasing amounts of cooper from copper sulfate or copper proteinate. *Journal of Animal Science* 77: 244-249.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, H. P. Miles, S. N. Wilkinson, D. J. Funnk, H. J. Conrad, and R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis para Tejidos de Plantas y Animales. Segunda edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. 4ª. ed., México, D.F. 217 p.
- Galyean, M. L., L. J. Perino, and G. C. Duff. 1999. Interaction of cattle health-immunity and nutrition. *Journal of Animal Science* 77: 1120-1134.
- Huerta B., M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. *In* :Memorias del curso "Alternativas de Manejo en Bovinos para carne en pastoreo". Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Hutcheson, D. P., N. A. Cole and J. B. McLaren. 1984. Effects of pretransit diets and post transit potassium levels for feeder calves. *Journal of Animal Science* 58: 700-707.

- Hutcheson, D. P., and N. A. Cole. 1986. Management of transit-stress syndrome in cattle: nutritional and environmental effects. *Journal of Animal Science* 62: 555-560.
- Jackson, H. M., R. P. Kromann, and E. E. Ray. 1971. Energy retention in lambs as influenced by various levels of sodium and potassium in the rations. *Journal of Animal Science* 33: 872-877.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. Lugar. 10 p.
- McDowell L., R., y J. D. Arthington. 2005. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 4ta Ed. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94 p.
- Miller, E. R. 1985. Mineral x disease interactions. *Journal of Animal Science* 60:1500-1507.
- NRC. 2005. *Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition*. National Academy Press. Washington, D. C., USA. 510 p.
- NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. The National Academies Press. Washington, D. C., USA. 345 p.
- Nunnery, G. A., J. T. Vasconcelos, C. H. Parsons, G. B. Salyer, P. J. Defoor, F. R. Valdez, and M. L. Galyean. 2007. Effects of source of supplemental zinc on performance and humoral immunity in beef heifers. *Journal of Animal Science* 85: 2304-2313
- O'Dell, B., L. 2000. Role of zinc in plasma membrane function. *The Journal of Nutrition* 130: 1432S-1436S
- Puls, R. 1994. *Minerals Levels in Animal Health*. Diagnostic data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 250 p.
- Reffett, J. K., J. W. Spears, and T. T. Brown, Jr. 1988. Effect of dietary selenium and vitamin E on the primary and secondary immune response in lambs challenged with parainfluenza3 virus. *Journal of Animal Science* 66:1520-1528.
- SAS Institute. 2004. *SAS User's Guide: Statistics*. Ver. 9.1. SAS Institute. Cary, N.C. USA. 5180 p.
- Sexson, J. L., J. J. Wagner., T. E. Engle, and J. W. Spears. 2010. Effects of water quality and dietary potassium on performance and carcass. *Journal of Animal Science* 88: 296-305
- Underwood, E. J., y N. F. Suttle. 2003. *Los Minerales en la Nutrición del Ganado*. Tercera edición. Acribia. Zaragoza, España. 495 p.