

01673
7^{2ej.}



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION
DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**EFFECTO DE LA RAZA Y LA EDAD EN EL PERFIL
MINERAL DE OVEJAS NO GESTANTES
DE PASTOREO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRO EN PRODUCCION ANIMAL:
NUTRICION Y ALIMENTACION
P R E S E N T A:
MVZ. A URORA HILDA RAMIREZ PEREZ

ASESORES: MVZ. M. Sc., PH D. SILVIA ELENA BUNTINX DIOS
MVZ. MPA. ANTONIO ORTIZ HERNANDEZ



MEXICO, D.F.

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

261207



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**EFFECTO DE LA RAZA Y LA EDAD EN EL PERFIL MINERAL DE OVEJAS NO
GESTANTES EN PASTOREO.**

Tesis presentada ante la

División de Estudios de Posgrado e Investigación de la

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnia

de la

Universidad Nacional Autónoma de México

Para la obtención del grado de Maestro en Producción Animal: Nutrición y

Alimentación

Por

MVZ Aurora Hilda Ramírez Pérez

Asesores:

MVZ., M. Sc., Ph D Silvia Elena Buntinx Dios

MVZ., MPA. Antonio Ortiz Hernández.

México D.F.

1998.

El autor da consentimiento a la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México para que la tesis esté disponible para cualquier tipo de reproducción e intercambio bibliotecario.



M. V.Z. Aurora Hilda Ramírez Pérez

Dedicatorias:

A nuestro Padre, ya que sin su voluntad la hoja del árbol no se mueve.

A mi madre, por ser ejemplo de incansable lucha y tenacidad, por la fuerza y apoyo que me das, por ser Tú.

A Letty por todo tu apoyo pero sobre todo por tu cariño, por que sé que estás aquí.

A mi pequeña familia, los amo por existir.

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
Proyecto CONACYT 1567P-B9507: **“Estudio de las fluctuaciones en la
concentración mineral corporal de ovinos en diferentes etapas productivas
y su relación con el forraje en un sistema de producción bajo condiciones
de pastoreo”**. Bajo la supervisión de M.V.Z., M. Sc., Ph D Silvia Elena
Buntinx Dios.

Agradecimientos:

Al personal del Laboratorio de Físicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitir el uso de sus instalaciones y equipo, especialmente a la Química Alejandra Guerrero.

Al Laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial al Dr. René Rosiles y al M.V.Z. Janitzio Bautista Ordoñez por su ayuda desinteresada en la elaboración de este trabajo.

Al Laboratorio del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente a la Química Ma. Antonieta Aguirre, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo y a la Señora Fermína Palma por darme desinteresadamente su tiempo y apoyo.

Al personal del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina por las facilidades otorgadas en la realización de este trabajo. En especial al M.V.Z. M.P.A. Antonio Ortiz Hernández y a los M.V.Z. Rosa B. Angulo, César Tapia, Martín Villalobos y Julio Cervantes.

A mi Honorable Jurado, sus observaciones enriquecieron esta investigación.

Un agradecimiento muy especial a mi tutora y directora de tesis M.V.Z., M. Sc., Ph D **Silvia Elena Buntinx Dios**, este trabajo es de las dos, ya que sin su orientación y ayuda desinteresada no hubiera sido posible su realización. Más que tutora y directora de tesis es una gran compañera y amiga. Por todo: Gracias.

RESUMEN.

Aurora Hilda Ramírez Pérez. "Efecto de la raza y la edad en el perfil mineral de ovejas no gestantes en pastoreo", bajo la asesoría de MVZ., M. Sc., Ph. D. Silvia Elena Buntinx Dios¹ y MVZ. MPA. Antonio Ortiz Hernández².

Cuatro grupos de seis ovejas no gestantes, Rambouillet (R), Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), en pastoreo, se utilizaron en un diseño factorial con mediciones repetidas (2 razas*2 edades), para determinar el efecto de raza y edad en las concentraciones de Ca, P, Mg, S, Se, Cu, Fe y Zn en sangre, plasma y lana. El consumo voluntario (C.V.) se estimó con Cr₂O₃. Se muestrearon seis veces: sangre, plasma, lana, heces y forraje. Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Cr se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica; Se, por generación de hidruros; P, colorimétricamente y S, por gravimetría. *C.V. por peso metabólico*: Existió interacción raza*edad (P=0.0001), con comportamiento cúbico de muestreo (P=0.0001): SA y RC consumieron más (0.07 y 0.06 kg, respectivamente). **SANGRE**: Ca: (x=56ppm), P: (x=140.4ppm) presentó efecto de muestreo (P=0.03), con comportamiento de quinto orden (P=0.02). Mg: (x=23.5ppm) mostró interacción muestreo*raza (P=0.01). Se: presentó efecto de muestreo (P=0.07) con comportamiento cuadrático (P=0.04). Fe: mostró interacción raza*edad (P=0.02) y comportamiento cuadrático de muestreo (P=0.02). Zn: presentó interacción muestreo*raza (P=0.04) y comportamiento cuadrático de muestreo (P=0.017). **PLASMA**: Ca, P y Mg: presentaron interacción muestreo*raza*edad (P<0.05) sin comportamientos definidos. Fe: tuvo interacción muestreo*raza*edad (P=0.01) con comportamiento cuadrático de muestreo (P=0.04). Zn: presentó efecto de muestreo (P=0.004) con comportamiento lineal (P=0.0005). **LANA**: S: SC tuvo, aunque subnormal, la mayor concentración (26774.4ppm, P=0.016) y RC, la menor (21525.7ppm). Zn: la Rambouillet tuvo menor concentración (P=0.004) que la Suffolk (141.3ppm vs 146.6ppm, respectivamente). Las concentraciones de Zn en sangre y lana fueron bajas. Cu: **SANGRE**: existió interacción muestreo*raza (P=0.01). **PLASMA y LANA**: la Suffolk presentó, aunque subnormales, mayores concentraciones en los tres tejidos (P<0.05). En ovinos existen diferencias entre razas en las concentraciones minerales; el C.V. está influido por edad y raza. Los mecanismos homeostáticos mantienen los niveles fisiológicos de Ca, P, Mg.

Palabras clave: pastoreo, consumo voluntario, Cr₂O₃, calcio, fósforo, magnesio, azufre, selenio, cobre, hierro, zinc.

¹ Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica F.M.V.Z. U.N.A.M.

² Director Técnico del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina. F.M.V.Z. U.N.A.M.

SUMMARY.

Aurora Hilda Ramírez Pérez. "Effect of breed and age on the mineral profile on non-pregnant ewes under grazing conditions", under the supervision of MVZ., M. Sc., Ph. D. Silvia Elena Buntinx Dios y MVZ. MPA. Antonio Ortiz Hernández.

Four groups of six non-pregnant ewes, Rambouillet (R), Suffolk (S), adult ewes (A) and ewe lambs (C), were used in a repeated measures grazing experiment with a factorial design (2 breeds * 2 ages) to determine the effect of breed and age on **Ca**, **P**, **Mg**, **S**, **Se**, **Cu**, **Fe** and **Zn** concentrations in whole blood, plasma and wool. Voluntary intake (V.I.) was estimated with Cr_2O_3 . Blood, plasma, wool, feces, and forage were sampled six times. **Ca**, **Mg**, **Cu**, **Fe**, **Zn** and **Cr** were determined through atomic absorption spectrophotometry; **Se**, through Mercury Hydride System; **P**, through colorimetry, and **S**, gravimetrically. *V.I on a metabolic weight basis*: There was a breed*age interaction ($P=0.0001$), with a cubic sampling effect ($P=0.0001$): SA and RL consumed more forage (0.07 and 0.06 kg, respectively). **BLOOD: Ca**: ($x=56ppm$). **P**: ($x=140.4ppm$) showed a fifth-order ($P=0.02$) sampling effect ($P=0.03$). **Mg**: ($x=23.5ppm$) showed a sampling*breed interaction ($P=0.01$). **Se**: showed a quadratic ($P=0.04$) sampling effect ($P=0.07$). **Fe**: showed a breed*age interaction ($P=0.02$) and a quadratic sampling effect ($P=0.02$). **Zn**: showed a sampling*breed interaction ($P=0.04$) and a quadratic sampling effect ($P=0.017$). **PLASMA: Ca**, **P** and **Mg**: showed a sampling*breed*age interaction ($P<0.05$). **Fe**: showed a sampling*breed*age interaction ($P=0.01$) with a quadratic sampling effect ($P=0.04$). **Zn**: showed a lineal ($P=0.0005$) sampling effect ($P=0.004$). **WOOL: S**: although below normal, SL had the highest concentration (26774.4ppm, $P=0.016$) and RL, the lowest (21525.7ppm). **Zn**: Rambouillet ewes had a lower concentration ($P=0.004$) than Suffolk ewes (141.3ppm vs 146.6ppm, respectively). **Zn** concentrations in **blood** and **wool** were low. **Cu: BLOOD**: there was a sampling*breed interaction ($P=0.01$). **PLASMA and WOOL**: although below normal, Suffolk ewes had higher concentrations in the three tissue samples ($P<0.05$). There are differences in mineral concentrations among breeds of sheep; V.I. is influenced by age and breed. Homeostatic mechanisms maintain Ca, P and Mg within physiological levels.

Key words: grazing, voluntary intake, Cr_2O_3 , calcium, phosphorus, magnesium, sulfur, selenium, copper, iron, zinc.

CONTENIDO.

RESUMEN	I
SUMMARY	II
LISTA DE CUADROS.	V
LISTA DE FIGURAS	IX
ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
Consumo voluntario	3
Marcadores	3
Calidad del forraje	5
Minerales	7
Funciones de los minerales	7
Macrominerales	8
Calcio	8
Fósforo	10
Magnesio	13
Azufre	15
Microminerales	18
Selenio	18
Cobre	21
Hierro	25
Zinc	29
Minerales y microorganismos ruminales	32
Circulación de minerales entre el tubo digestivo y el organismo	34
Muestras utilizadas en el estudio de los minerales	36
Justificación	37
Objetivos	38
Hipótesis	39

II. MATERIAL Y METODOS.

Fase de campo

Lugar	40
Animales	40
Alimentación y manejo	40
Muestreos y pesaje	41

Análisis de laboratorio	43
-----------------------------------	----

Análisis estadístico.	46
-------------------------------	----

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Composición mineral del suelo	47
---	----

Digestibilidad y contenido mineral del forraje	48
--	----

Peso de los animales.	53
-------------------------------	----

Consumo voluntario	57
------------------------------	----

Consumo voluntario por peso metabólico (kg P.V. ^{0.75}).	61
--	----

Concentración de minerales	66
--------------------------------------	----

Calcio en sangre y en plasma.	67
---------------------------------------	----

Fósforo en sangre y en plasma	72
---	----

Magnesio en sangre y en plasma	79
--	----

Azufre en sangre y en plasma	86
--	----

Azufre en lana	86
--------------------------	----

Selenio en sangre.	89
----------------------------	----

Cobre en sangre, en plasma y en lana	93
--	----

Hierro en sangre y en plasma	97
--	----

Zinc en sangre, en plasma y en lana	105
---	-----

Conclusiones	112
------------------------	-----

Recomendaciones	113
---------------------------	-----

IV. BIBLIOGRAFÍA	115
-----------------------------------	------------

V. APÉNDICE	124
------------------------------	------------

CUADROS.

No.	Título	página
1	Análisis de suelo de las praderas utilizadas en la investigación	47
2	Producción de materia seca, antes y después de los períodos de ocupación.	49
3	Disponibilidad de forraje por animal al finalizar los períodos de ocupación de las praderas.	49
4	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca y contenido mineral de las praderas.	50
5	Requerimientos de materia seca, macrominerales y microminerales para el ovino en mantenimiento.	52
6	Análisis de varianza de mediciones repetidas para el cambio de peso de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	53
7	Pesos promedio de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 24).	54
8	Transformación polinomial del efecto de muestreo en el cambio de peso de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	55
9	Análisis de varianza de mediciones repetidas para el consumo voluntario de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	58
10	Consumo voluntario promedio de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 24).	59
11	Transformación polinomial del efecto de muestreo en el consumo voluntario de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	60
12	Análisis de varianza de mediciones repetidas para el consumo voluntario por peso metabólico de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	62
13	Consumo voluntario promedio por kg de P.V. ^{0.75} de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 24).	64

14	Transformación polinomial del efecto de muestreo en el consumo voluntario promedio por peso metabólico de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	65
15	Concentración de macrominerales y microminerales (ppm) en sangre, plasma y lana de ovinos, según diferentes autores.	66
16	Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Ca en sangre y plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	68
17	Concentración media de Ca en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 24).	69
18	Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de P en sangre y plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	73
19	Concentración media de P en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 23).	72
20	Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración sanguínea de P en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	74
21	Concentración media de P en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 23).	77
22	Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Mg en sangre y plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	80
23	Concentración media de Mg en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 23).	81
24	Concentración media de Mg en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 24).	83
25	Transformación helmert del efecto de muestreo en la concentración plasmática de Mg, en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	74
26	Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de S en lana de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	77

27	Concentración media de S en lana limpia de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	88
28	Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Se en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	89
29	Concentración media de Se en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 23).	90
30	Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración sanguínea de Se en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	91
31	Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Cu en sangre, plasma y lana de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	94
32	Concentración media de Cu en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 23).	93
33	Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Fe en sangre y plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	98
34	Concentración media de Fe en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 23).	99
35	Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración sanguínea de Fe, en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	100
36	Concentración media de Fe en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 19).	102
37	Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración plasmática de Fe, en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	103
38	Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Zn en sangre, plasma y lana de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	106
39	Concentración media de Zn en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 22).	107

40	Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración sanguínea de Zn, en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	108
41	Concentración media de Zn en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 19).	109
42	Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración plasmática de Zn, en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	110

FIGURAS

No.	Título	Página
1	Cambio de peso de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.	56
2	Consumo voluntario promedio (kg de materia seca) de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	61
3	Consumo voluntario promedio (kg de materia seca) por peso metabólico de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	65
4	Concentración promedio de Ca en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.	70
5	Concentración promedio de P en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	75
6	Concentración promedio de P en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.	78
7	Concentración promedio de Mg en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	81
8	Concentración promedio de Mg en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.	86
9	Concentración promedio de Se en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	92
10	Concentración promedio de Cu en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	95

11	Concentración promedio de Fe en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	101
12	Concentración promedio de Fe en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet(R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.	104
13	Concentración promedio de Zn en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	108
14	Concentración promedio de Zn en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.	111

ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS.

ADN	ácido desoxirribonucleico.
ARN	ácido ribonucleico.
ADP	adenosil difosfato
AMP _c	adenosil monofosfato cíclico
ATP	adenosil trifosfato.
ATPasa	adenosil trifosfatasa.
°C	grados Celsius.
CoA	coenzima A.
CoQ	coenzima Q.
Cr ₂ O ₃	sesquióxido de cromo.
DMS	diferencia mínima significativa.
D.M.S.	digestibilidad de la materia seca.
D.I.V.M.S.	digestibilidad in vitro de la materia seca.
EEM	error estándar de la media.
EAA	espectrofotometría de absorción atómica.
EDTA	ácido etilen diamino tetracético o EDT acetato.
F.M.V.Z.	Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
g/día	gramos por día.
g/kg	gramos por kilogramo.
GTP	guanidil trifosfato.
ha	hectáreas.
Hb	hemoglobina.
h	horas.
HNO ₃	ácido nítrico.
I.N.R.A.	Institute National de la Recherche Agronomique.
kg	kilogramos.
M.S.	materia seca.
MT	metalotioneína.
m	metros

m ²	metros cuadrados
µg/día	microgramos por día.
µg/g	microgramos por gramo.
µg/kg	microgramos por kilogramo.
mg/dl	miligramos por decilitro.
mg	miligramos.
mg/l	miligramos por litro.
N.R.C.	National Research Council.
N.P.F.I.	National Plant Food Institute.
NADH	nicotinamida adenin dinucleótido reducido.
ppb	partes por billón.
ppm	partes por millón.
P _i	fósforo inorgánico.
pH	potencial hidrógeno.
rpm	revoluciones por minuto.
SOD	super óxido dismutasa.
Ton	tonelada.
TGI	tracto gastrointestinal.
U.N.A.M.	Universidad Nacional Autónoma de México.

I. INTRODUCCIÓN.

Entre los principales problemas a los que se enfrenta el mundo se encuentra el de la escasez de alimento destinado al consumo humano. Por esta razón, la investigación debe enfocarse a la obtención de nuevos alimentos o a mejorar la utilización de los ya existentes. Dentro de ellos están los de origen animal, que son de alto valor nutricional. En México, no es posible dedicarse a la producción de granos para el consumo animal y su importación resulta muy costosa. Es por ello que la nutrición de los animales debe encaminarse a alimentarlos con productos de bajo costo, como son los pastos (Dearriba, 1988).

La mayor utilidad económica de los pastizales es precisamente la producción pecuaria; algunos países, sobre todo Nueva Zelanda, han basado su economía agrícola en los pastizales para la producción de carne, leche y lana (Cheeke, 1991). Entre las especies pecuarias, los rumiantes presentan ventajas que les permiten utilizar los pastos, los cuales no sirven para alimentar ni al hombre ni a otras especies no rumiantes (Dearriba, 1988).

En casi todos los estados de la República Mexicana hay ovinos. Sin embargo, las dos zonas de producción más importantes son centro-sur y norte. En el centro-sur se localizan los sistemas de producción más intensivos, hay predominio del pastoreo diurno (6-12 h) con encierro nocturno; el objetivo principal de producción es la carne. El ganado predominante es el criollo con fuerte influencia de razas cara negra principalmente la **Suffolk** (Arbiza y de Lucas, 1992). Ésta es una raza de origen inglés, producto del cruzamiento de hembras de la raza Norfolk con cuernos y machos Southdown. Es esencialmente productora de carne. Las hembras adultas llegan a pesar 91 kg y los machos adultos 136 kg (NSA, 1979). Son animales con cara y patas de color negro y en estas regiones carecen de lana. Las orejas largas, pesadas y ligeramente caídas son típicas de la raza. Los corderos nacen de color oscuro o negro y a la edad de 3 ó 4 meses se tornan blancos con excepción de las extremidades y cara. La lana se contamina frecuentemente con pelo y fibras de color negro. Esta raza no es tan longeva como las razas de cara blanca y tampoco es buena pastoreando en regiones áridas o semiáridas. Son animales prolíficos y muy estacionales. Los carneros Suffolk son muy usados como padres en programas de cruzamiento (Botkin et al., 1988)

La zona norte es la segunda en importancia en producción ovina y está comprendida por el Altiplano zacatecano y potosino; el sistema de manejo es extensivo. En esta región se encuentran los grandes rebaños del país, los animales son criollos con fuerte influencia del Merino o pertenecen a la raza **Rambouillet** (Arbiza y de Lucas, 1992). En Francia, a partir del Merino Español desarrollaron la raza Rambouillet, la cual es productora de lana de alta calidad; las hembras adultas pesan entre 64 a 82 kg y los machos adultos 115 a 137 kg (90-114 kg, Scott, 1991). Son animales de color blanco, las ovejas carecen de cuernos y los carneros los tienen en forma de espiral; deben tener la cara limpia de lana y el cuerpo sin pliegues. Son animales altamente adaptables y pueden vivir y producir bajo condiciones climáticas extremas, además de poseer un fuerte instinto gregario. Reproductivamente son menos estacionales que otras razas. En sistemas de cruzamientos para mejorar la producción de corderos y lana se le utiliza como raza materna (Botkin et al., 1988; Scott, 1991).

En México la producción de ovinos se realiza generalmente en condiciones de pastoreo y la alimentación en estos casos depende principal o únicamente del forraje disponible. Aunque en algunos casos se utilizan especies mejoradas, en su mayoría, las praderas de pastoreo son nativas, por lo que la alimentación de los borregos está sujeta a las condiciones del clima, como son la temperatura, cantidad y distribución de la precipitación pluvial, las cuales afectan directamente la producción de forraje en la pradera. (González, 1992).

Así, la óptima alimentación de rumiantes basada totalmente en el pastoreo resulta difícil debido a varios factores. Por ejemplo, se desconocen los requerimientos de nutrimentos del ganado en pastoreo, ya que pueden modificarse por la misma actividad de pastorear, caminar y tensiones provocadas por el medio ambiente. Además, el animal elabora su dieta con varias combinaciones de especies de plantas y partes de las mismas y ello hace difícil determinar el valor nutritivo de lo que el animal consume (Allison, 1985; van Houtert, 1996).

CONSUMO VOLUNTARIO.

El principal factor determinante de la producción ovina es la cantidad de pastura consumida y las características nutritivas del forraje son de importancia secundaria (Doyle et al., 1994).

Walters y Evans citados por van Houtert (1996) señalan que la estimación del consumo de alimento por grupo de animales en pastoreo se ha hecho calculando la diferencia en la cantidad de forraje antes y después del periodo de pastoreo, obteniéndose así, el consumo promedio de alimento por grupo de animales. Esta metodología es útil particularmente en sistemas de pastoreo con elevada carga animal y periodos de pastoreo relativamente cortos (2 días); en periodos superiores es necesario corregir por el crecimiento neto de la pradera, para lo cual se emplean jaulas de exclusión.

El consumo individual puede estimarse a partir de la producción fecal y de la digestibilidad del alimento. La recolección total de heces es un proceso laborioso y presenta desventajas: los animales no se adaptan fácilmente al arnés, la recolección debe hacerse una o dos veces al día y hay que asegurar la bolsa recolectora. Este manejo podría afectar el patrón normal de pastoreo y el desempeño productivo. Otro inconveniente importante es la dificultad de utilizar este método en hembras (Doyle et al., 1994; van Houtert, 1996).

MARCADORES. La producción fecal se puede estimar a partir de la dilución en heces de una sustancia marcadora indigestible (Luginbuhl, 1994; van Houtert, 1996). Kotb y Luckey (1992) definen como marcador, indicador, rastreador, sustancia de referencia o sustancia índice, a un material utilizado para la estimación cualitativa o cuantitativa, generalmente de modo indirecto de eventos de tipo fisiológico o nutricional como son: digestibilidad del forraje, tasa de pasaje de líquidos y sólidos a través del tracto gastrointestinal (TGI), producción fecal y consumo voluntario (Pond et al., citados por Buntinx, 1990).

Un marcador útil debe ser: recuperado cuantitativamente en las heces, químicamente estable, fácilmente analizable para poder obtener resultados precisos y repetibles; además, su manipulación no debe representar riesgos al operador (van Houtert, 1996). Fisher et al., citados por Buntinx (1990), señalan que los marcadores han sido usados

especialmente en pruebas de pastoreo, consideradas experimentos complejos debido a que la calidad y cantidad precisas de la dieta se desconocen.

Entre los marcadores más investigados se encuentra el sesquióxido de cromo (Cr_2O_3), ligero (peso molecular =152.02), color verde oscuro, prácticamente insoluble en agua, alcohol y acetona pero, ligeramente soluble en álcalis y ácidos (Kotb y Luckey, 1972).

La producción fecal se calcula con base en la concentración del marcador alcanzada en las heces, lo cual puede hacerse a través de dos metodologías: 1) utilización de una dosis única del marcador, o 2) administración diaria del marcador para lograr un estado de equilibrio (Buntinx, 1990).

La estimación de la producción de heces usando la técnica de la dosis única se consigue midiendo el cambio a través del tiempo de la concentración del marcador después de la administración del mismo. Entre la dosificación y la aparición en heces del rastreador transcurre cierto tiempo y después se presenta un pico en la concentración que va disminuyendo hasta límites no detectables. La desventaja de este método es la necesidad de recoger frecuentemente muestras fecales para poder construir la curva de aparición del marcador, manejo que puede alterar el comportamiento en pastoreo de los animales. Con esta técnica se consigue obtener información acerca de otros eventos como la velocidad de paso, tiempo medio de retención, llenado ruminal, etc. (Buntinx, 1990).

La segunda técnica consiste en proporcionar diariamente una cantidad conocida del marcador para obtener un equilibrio. La concentración en las heces alcanza un valor constante generalmente días después de iniciada la dosificación; a partir de este momento las muestras pueden tomarse a cualquier hora durante el día y deben recolectarse durante tres a siete días para obtener una concentración promedio del marcador (Van Houtert, 1996).

La producción fecal se calcula con la siguiente ecuación: 1: (M.S. = materia seca) (van Houtert, 1996).

1-Producción fecal (M.S. g/día) = Dosis del marcador $\mu\text{g}/\text{día}$ /Concentración del marcador en heces $\mu\text{g}/\text{g}$ M.S.

Van Houtert (1986) señala que la dosificación de Cr_2O_3 una o dos veces al día resulta en una gran variación en su concentración en las muestras fecales. Buntinx (1990) cita a Pidgen y Brisson quienes señalan que las variaciones más extremas se presentan cuando se administra el marcador una vez al día y se reducen cuando se administra dos veces al día. Cuando se administra seis veces la variación que se presenta no es significativa, pero administrarlo seis veces a animales pastoreando puede alterar los patrones de comportamiento debido al manejo necesario. Smith y Reid, citados por Buntinx (1990), señalan que la colección de muestras en dos horarios (06:00 y 16:00h) fue muy similar a la colección total de heces durante 24 h.

CALIDAD DEL FORRAJE. El consumo está influido por la calidad del forraje (Cheeke, 1991). En teoría si un animal pudiera comer lo suficiente, éste podría satisfacer sus necesidades de nutrimentos con forrajes de baja calidad, pero el consumo total está limitado por factores del mismo animal y de la planta (Allison, 1985). Por esta razón, si los animales consumen una mayor cantidad de forraje nutritivo estarán más cerca de llenar sus requerimientos (Cheeke, 1991).

La evaluación del valor nutritivo de las especies forrajeras se basa en determinar su composición química y digestibilidad, siendo ésta un factor importante por dos razones: 1) a mayor digestibilidad, mayor cantidad de nutrientes está disponible para ser utilizada por el animal y 2) a mayor digestibilidad, mayor consumo debido a que la tasa de pasaje en el rumen aumenta (van Soest, 1987; Cheeke, 1991). Aun cuando el consumo voluntario aumenta con una elevación en la digestibilidad, hay un punto donde incrementos adicionales en la misma no elevan ni disminuyen el consumo (Allison, 1985). Hay varios factores que afectan la digestibilidad del forraje y pueden ser propios de la planta o del medio ambiente (van Soest, 1987; Cheeke, 1991).

Una vez estimada la producción fecal individual y conociendo la digestibilidad de la dieta es posible calcular el consumo voluntario con la ecuación 2: (D.M.S. = digestibilidad de la materia seca) (Pond et al., 1990).

2- Consumo voluntario (g/día) = Producción fecal (g M.S. /día)/(1-DMS/100)

Los animales en pastoreo deben obtener del forraje consumido la mayor parte de nutrientes que requieren. El principal problema radica en que aun en las estaciones de rápido crecimiento vegetal (verano), las ganancias de peso son inferiores a lo esperado, debido a las deficiencias en los nutrientes (Abdelrahman y Kincaid, 1992). Aun cuando se ha estudiado el aporte de energía y proteína de los forrajes de clima tropical y templado, poco se ha progresado en el conocimiento de la función de los minerales y la información sobre los requerimientos y los factores que afectan su disponibilidad en los rumiantes alimentados en pastoreo es escasa (Spears, 1994).

Los forrajes, al ser la única fuente de alimento para los ovinos en pastoreo, proveen en algunos casos las cantidades adecuadas de minerales esenciales requeridos por los animales, pero en muchas ocasiones son deficientes en uno o más de ellos. Es entonces cuando se necesita suplementar para lograr una salud y producción óptimas (Spears, 1994).

El contenido mineral de los forrajes se ve afectado por varios factores: características genéticas de la planta, estado vegetal, tipo de suelo, contaminación del mismo, uso y tipo de fertilización, composición botánica de la pradera, contaminación del aire, condiciones climáticas, época del año, etc. Los cambios en el contenido mineral del forraje pueden impedir que los elementos llenen las necesidades minerales del ganado a lo largo del año. Por otra parte, los nutrientes importantes están relacionados con el patrón de digestibilidad del forraje y disminuyen conforme avanza la madurez de éste (Georgievskii, 1982; van Soest, 1987; García-Bojalil, 1990; Grace y Clark, 1991).

El organismo animal es capaz de mantener la homeostasis de los minerales a pesar de grandes variaciones en sus concentraciones en los alimentos. Sin embargo, hay un límite para la efectividad de esta capacidad y la alteración del metabolismo mineral resultante de la explotación intensiva del ganado puede limitar significativamente su producción. Aun cuando es posible encontrar deficiencias severas de minerales, las deficiencias marginales son las más comunes. Éstas no producen signología clínica por lo que es difícil detectarlas; sin embargo, pueden ocasionar disminución del apetito, deterioro de la condición del animal,

fallas productivas y reproductivas, disminución de la respuesta inmune. Todo esto tiene consecuencias económicas importantes (Georgievskii, 1982; I.N.R.A., 1990; Spears, 1994).

MINERALES.

Los minerales representan una porción relativamente pequeña de la dieta de los animales; sin embargo son vitales para la vida de los mismos (Church, 1991) ya que forman parte de vitaminas, enzimas y hormonas y afectan todas las formas de metabolismo (carbohidratos, proteínas y lípidos). Por lo tanto afectan el crecimiento y desarrollo de los animales y su productividad y capacidad reproductora (Georgievskii, 1982).

El cuerpo animal contiene casi la mayoría de los elementos minerales, debido posiblemente a su presencia en la dieta, lo cual no implica que cumplan una función esencial en el metabolismo. Un mineral resulta "esencial" cuando se ha comprobado que su ausencia en la dieta produce signos de deficiencia en los animales (Underwood, 1981; Church y Pond, 1988; McDonald et al., 1988; I.N.R.A., 1990; Naylor, 1991).

FUNCIONES DE LOS MINERALES. Las funciones de los minerales pueden agruparse de la siguiente manera (Underwood, 1981; I.N.R.A., 1990):

1.- *Componentes estructurales de los tejidos:* fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), flúor (F) y sílice (Si) son parte de la estructura de huesos y dientes; P y azufre (S), de las proteínas musculares.

2.- *Constituyentes de los fluidos corporales y tisulares:* sodio (Na), potasio (K), cloro (Cl), Ca y Mg en sangre, en líquido cefalorraquídeo y en los jugos gástricos son electrolitos que participan en el mantenimiento de la presión osmótica, el equilibrio ácido-básico, la permeabilidad de la membrana y la conductibilidad de los tejidos.

3.- *Participantes en sistemas catalíticos enzimáticos y hormonales, como integrantes y componentes de sistemas específicos de la estructura de las metaloenzimas o como activadores específicos de dichos sistemas:* hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y selenio (Se).

Los minerales esenciales se clasifican en macroelementos o elementos minerales principales (P, Ca, Mg, Na, K, Cl y S) y en oligoelementos o minerales traza (Fe, Zn, Mn, Cu, Co, I, Mo, Se). A esta lista se pueden sumar otros oligoelementos como F, níquel (Ni), vanadio (V), cromo (Cr) (NRC, 1985; Keen y Graham, 1989; I.N.R.A., 1990).

La suma de todas las necesidades netas (mantenimiento, crecimiento, gestación, lactación) representa la cantidad de minerales que debe atravesar la barrera digestiva y entrar al torrente sanguíneo, para preservar la salud del animal y atender a sus producciones (I.N.R.A., 1990). A esta necesidad del animal sería conveniente agregar la necesidad de los microorganismos ruminales (Thompson y Fowler, 1990); así, se han visto necesidades específicas de P, S, Mg, Zn, Cu y Co, de tal modo que si no se cubren esos requerimientos, disminuye el aprovechamiento de la dieta (I.N.R.A., 1990).

MACROMINERALES.

CALCIO. El contenido de Ca en suelo se ve influido por el pH, la aplicación de cal y el contenido de Mg, el cual lo antagoniza. En las plantas, el Ca es considerado como nutriente secundario y se encuentra en forma hidrosoluble, ácido soluble y la fracción extractable con sal. La forma hidrosoluble es la fracción más móvil e incluye a los ácidos orgánicos y a los proteinatos; la ácido soluble es menos móvil que la anterior e incluye los malatos y oxalatos. Los alimentos más ricos en Ca son las leguminosas; los pastos y cereales son considerados pobres. Cabe señalar también que las partes vegetativas contienen mayor cantidad del mineral que las partes reproductivas (Ortiz y Ortiz, 1990).

El nivel óptimo de Ca en los forrajes es de 40-60 ppm en base seca, niveles de 100 ppm son considerados elevados (Georgievskii, 1982). El Ca forma parte de las paredes celulares, promueve el desarrollo del sistema radicular, constituye un amortiguador para los ácidos orgánicos, se mueve difícilmente de las partes viejas a las más jóvenes de la planta, afecta la absorción de nitrógeno (N) y fomenta la producción de semillas (N.P.F.I., 1974; Ortiz y Ortiz, 1990).

Aproximadamente el 99% del Ca almacenado en el animal se encuentra en los huesos y dientes. La proporción Ca:P en tejido óseo es de 2:1 y está en forma de cristales de hidroxiapatita (Georgievskii, 1982; Church y Pond, 1988; Yano et al., 1991). Éste tejido no es estático sino que presenta un rápido intercambio de minerales, el cual disminuye con la edad (Larvor, 1983).

Capen y Rosol (1989) señalan que la concentración de Ca en la sangre varía de acuerdo con la especie, edad, consumo dietario y al método analítico usado para su determinación. La mayor cantidad de Ca sanguíneo se encuentra en el suero: generalmente se reporta como Ca total (10 mg/dl), el cual se halla fraccionado de la siguiente manera: 1) no difusible 32.8% (principalmente ligado a albúminas, 26.8%, y a globulinas, 6.8%); 2) difusible 65.2% (comprende el que forma complejos con bicarbonato, fosfato y citrato, 12%, y el ionizado, 52.0%). El Ca ionizado (Ca^{2+}) es la fracción disponible para las funciones metabólicas (Georgievskii, 1982; Capen y Rosol, 1989; van Niekerk et al, 1989). La concentración de Ca^{2+} en el ovino es de 4.4 mg/dl de suero (Georgievskii, 1982).

Si bien el Ca total da una idea del status del mineral, la concentración de Ca^{2+} puede ser un mejor estimador de la cantidad disponible para el consumo y utilización por los tejidos (Church y Pond, 1988; Ballantine y Herbein, 1991). Dauth et al. (1984) reportan una correlación lineal entre Ca total y Ca^{2+} , con un coeficiente de correlación de 0.93.

El Ca participa en la contracción muscular, coagulación sanguínea, actividad enzimática, excitabilidad nerviosa, liberación hormonal, permeabilidad de membrana y es componente estructural del sistema esquelético (Georgievskii, 1982; Church y Pond, 1988; Capen y Rosol, 1989).

El principal sitio de absorción del Ca es el intestino delgado, aunque el rumen y retículo también tienen capacidad de absorberlo. Se ha comprobado que la pared ruminal es permeable al Ca^{2+} en ambas direcciones y al parecer esto depende de un sistema Na^+/K^+ ATPasa. En la parte superior del intestino delgado el Ca se absorbe por transporte activo (absorción primaria) y difusión pasiva (absorción secundaria); ambas pueden saturarse y son afectadas por la vitamina D (Church y Pond, 1988; Yano et al., 1991).

Braithwaite (1975) y Naylor (1991) sugieren que la eficiencia de absorción de Ca disminuye con la edad, lo cual puede reflejar una disminución en las necesidades del elemento. Por otra parte, la absorción del mineral es afectada negativamente por exceso de fosfatos, iones de Mg y aluminio (Al) y grasa (Georgievskii, 1982; Naylor, 1991; Yano et al., 1991) y positivamente por la vitamina D y sustancias que disminuyen el pH intestinal. El Ca alimentario que no se absorbe y el endógeno se eliminan principalmente por las heces; el Ca filtrado en el glomérulo es casi totalmente reabsorbido y el poco que se elimina con la orina forma complejos con compuestos filtrables no ionizados. Durante las dos primeras semanas de vida de los rumiantes la vía renal es la principal ruta de excreción del Ca (Georgievskii, 1982).

Los primeros signos de una deficiencia de Ca pueden ser una disminución en el consumo de alimento y crecimiento deficiente (Naylor, 1991). La deficiencia de Ca en los animales jóvenes provoca raquitismo y en adultos osteomalacia. La toxicidad por Ca en rumiantes no es frecuente, puesto que toleran excesos del mineral siempre y cuando se provea de P; así, estas especies toleran relaciones Ca:P hasta de 7:1 (NRC, 1980; Georgievskii, 1982; NRC, 1985; Capen y Rosol, 1989). Se sabe que el exceso de Ca dietario reduce la utilización de Mg, Fe, I, Mn y Cu (NRC, 1980; NRC, 1985; Church y Pond, 1988).

FÓSFORO. La disponibilidad del P en los suelos está fuertemente afectada por el pH, la textura y los contenidos de Ca, Mg, Al y Fe (Ortiz y Ortiz, 1990). El P es considerado un macronutriente para las plantas, donde se encuentra como sales de ácido fítico. El contenido de este mineral en granos es 3 ó 4 veces más que en las pajas, en concentración de 2.5-3.0g/kg de M. S. (Georgievskii, 1982), y puede aumentar con la fertilización y disminuir con la edad de la planta (García-Bojalil, 1990). En el desarrollo inicial de las plantas es importante el aporte adecuado de P, ya que estimula el desarrollo de las raíces, estimula la floración y formación de las semillas y, aplicado a las leguminosas, activa al *Rhizobium*, ayudando así a la fijación del N atmosférico (Ortiz y Ortiz, 1990).

El 80% del P en el organismo animal se encuentra formando parte de los cristales de hidroxiapatita en huesos y dientes (Georgievskii, 1982; Church y Pond, 1988; McDonald

et al., 1988; I.N.R.A., 1990). En los tejidos suaves y fluidos, el P se encuentra principalmente de manera orgánica (fosfoproteínas, ácidos nucleicos, hexosas-P, compuestos energéticos tales como: ATP, ADP, GTP) y una pequeña parte se encuentra como inorgánica (fosfatos de Ca, Mg, K, amonio).

El P sanguíneo se encuentra distribuido de la siguiente forma: 1) ácido soluble: orgánico e inorgánico, cuya proporción en rumiantes es de 3-4:1; la porción inorgánica se encuentra mayoritariamente en el plasma, casi todo es filtrable y está ionizado; 2) ácido insoluble, unido a lípidos o proteínas. El P intraeritrocitario se encuentra como hexosas-P (Georgievskii, 1982). Braithwaite (1983), Naylor (1991) y Abdelrahman y Kincaid (1992) consideran al P sérico un buen indicador del status del mineral en el organismo, puesto que sus niveles son altamente sensibles al cambio en la dieta.

El P participa en la absorción intestinal de nutrientes, en la glicólisis, oxidación de carbohidratos, excreción renal y transporte de lípidos; como ácido fosfórico es parte de la coenzima A (CoA), del pirofosfato, de coenzimas de oxido-reducción, enzimas de carboxilación y descarboxilación y de cofactores de transferencia de grupos fosfato (Georgievskii, 1982; Church y Pond, 1988) y es el único mineral que afecta la calidad de la carne (Georgievskii, 1982).

El NRC (1985) señala que hay diferencias en la absorción de P dentro y entre razas de ovinos, además de verse afectada por la edad y estado fisiológico del animal. El mineral se absorbe principalmente en la parte alta del intestino delgado y la cantidad absorbida está directamente relacionada al suplemento de P en la dieta. La eficiencia en la absorción disminuye cuando los ovinos reciben dietas deficientes en el mineral o cuando el suplemento excede las necesidades y aumenta cuando la suplementación es adecuada (NRC, 1980; Yano et al., 1991). El rumen es casi impermeable al P; aquí se lleva a cabo la hidrólisis de los fitatos por acción de fitasas bacterianas, lo que indica la capacidad de los rumiantes de utilizar el P de los fitatos con facilidad (McDonald et al., 1988; Thompson y Fowler, 1990). La absorción de P en los no rumiantes se lleva a cabo mediante un proceso activo, fácilmente saturable, dependiente del Na y por un proceso de absorción pasiva que impera cuando hay concentraciones elevadas de P en el lumen intestinal (Yano et al., 1991).

Concentraciones elevadas de Fe, Al, plomo (Pb), Mg y Ca en la dieta disminuyen su absorción debido a la formación de fosfatos insolubles. En ovinos, la asimilación del P disminuye si hay un exceso de Cu, F o Mn en la dieta; esta interacción puede producirse durante el metabolismo (NRC, 1980; Georgievskii, 1982). La excreción del mineral es a través de las heces y orina (Naylor, 1991) y la principal pérdida de P endógeno en los rumiantes es por la saliva, (Georgievskii, 1982; Yano et al., 1991).

Las deficiencias de P pueden producir raquitismo y osteomalacia; hay alteraciones del apetito, pobre crecimiento, bajas ganancias de peso, disminución de la fertilidad. En los rumiantes, la digestión del alimento se reduce (Georgievskii, 1982; Church y Pond, 1988; McDonald et al., 1988; Abdelrahman y Kincaid, 1992). Es necesario consumir dietas pobres en P durante varios meses para que se manifiesten signos de deficiencia, pero los animales que están en crecimiento son afectados con mayor rapidez. Por otra parte, el ganado ovino es menos susceptible que el bovino a deficiencias de P, debido a su manera más selectiva de pastar, ya que tratan de consumir las partes tiernas de la planta, que son más ricas en el mineral. El exceso de P en la dieta puede disminuir la absorción de Ca y predisponer a urolitiasis (Naylor, 1991).

En la regulación metabólica del Ca y P intervienen varias hormonas, siendo las principales:

Parathormona (PTH): hormona hipercalcemiante, producida por las glándulas paratiroides. Es el principal factor regulador de la calcemia bajo condiciones normales: aumenta la reabsorción tubular de Ca, incrementa la remodelación y resorción óseas y acelera la formación de la vitamina D activa, disminuye el P sanguíneo y eleva su excreción renal al disminuir su reabsorción. Su principal regulador es la concentración sanguínea de Ca^{2+} . (Georgievskii, 1982; Capen y Rosol, 1989; Brown, 1991).

Calcitonina (CT): hormona hipocalcemiante, producida por las células C de la glándula tiroides y considerada una hormona de emergencia. Evita el desarrollo de hipercalcemia fisiológica postprandial y disminuye el nivel de Ca en sangre y la actividad osteoclástica. (Georgievskii, 1982; Capen y Rosol, 1989; Brown, 1991).

Vitamina D₃ (1, 25-dihidroxicolecalciferol): ésta es ingerida en la dieta o bien sintetizada en la epidermis por acción de los rayos solares ultravioleta. Participa en la homeostasis de la absorción de Ca, aumenta la excreción endógena intestinal y la absorción en hueso; también aumenta la absorción de fosfatos y su reabsorción renal (Georgievskii, 1982; Capen y Rosol, 1989; Brown, 1991).

MAGNESIO. El Mg en suelo se encuentra formando parte de silicatos, sulfatos y cloruros y es afectado por la acidez, la cual provoca su pérdida (Ortiz y Ortiz, 1990). En las plantas, dicho mineral está en forma hidrosoluble, ácido soluble o en fracciones adsorbidas (Georgievskii, 1982). Es constituyente de la clorofila, lleva P en la planta, promoviendo la formación de aceites y grasas, ayuda a translocar almidones, así como a regular la absorción de otros nutrientes (N.P.F.I., 1974; Ortiz y Ortiz, 1990). En el forraje, varios factores afectan la biodisponibilidad del Mg; por ejemplo, la acidez del suelo, el K y el amonio inhiben su captación, en tanto los nitratos la mejoran (Naylor, 1991). La concentración de Mg en las leguminosas es mayor que en los pastos (NRC, 1985; McDonald et al., 1988). En estos últimos la concentración es aproximadamente de 2 ppm en base seca; el trigo, pastas de oleaginosas, avena y remolacha azucarera son considerados alimentos ricos en Mg (Georgievskii, 1982). Las concentraciones del elemento en las plantas disminuye conforme aumenta la madurez (Viana y Zometa, 1978; García-Bojalil, 1990).

El Mg está íntimamente ligado al Ca y P (NRC, 1985; Naylor, 1991). Larvor (1978) divide a los tejidos de mamíferos en: (a) los que tienen Mg rápidamente intercambiable (riñón, hígado, corazón, bazo, pulmón) y (b) los que tienen Mg lentamente intercambiable (músculo estriado, cerebro y eritrocitos). El Mg es un componente menor del tejido óseo, en donde se halla en proporción Ca:Mg de 50:1 y representa el 70% del Mg corporal (NRC, 1985; Naylor, 1991). La concentración de Mg en el hueso depende de su concentración en la dieta y muestra una correlación positiva con la magnesemia (Georgievskii, 1982). El músculo estriado esquelético y el hígado son los tejidos blandos con mayores concentraciones de Mg. El 75% del Mg sanguíneo total se encuentra en los eritrocitos y el 25% restante en el suero, donde 35% se encuentra ligado a proteínas (Church y Pond, 1988) y 65% está ionizado (Georgievskii, 1982). Es difícil valorar el status de Mg

en el animal, ya que el plasma, que es la fuente donde es más fácil de medir el mineral, representa sólo una pequeña fracción del Mg total (Capen y Rosol, 1989).

El K y Mg son los principales cationes intracelulares. Las funciones intracelulares del Mg son: la activación de enzimas (mioquinasas, creatinínquinasas, carboxilasa y oxidasa de ácido pirúvico, fosfatasa alcalina, ADN y ARN polimerasas, polinucleotidasas, ribonucleasas) y en la mitocondria, el Mg activa la fosforilación oxidativa (Georgievskii, 1982; Capen y Rosol, 1989). El Mg como activador enzimático puede ser reemplazado en casi todos los casos por Mn (Georgievskii, 1982). Las funciones extracelulares del mineral son la producción y descomposición de la acetilcolina y la formación del tejido óseo; además, es indispensable para la actividad de la microflora ruminal (Capen y Rosol, 1989).

La absorción de Mg se efectúa principalmente en el íleon (Church y Pond, 1988). Grace et al., citados por Yano et al. (1991), señalan al omaso como el principal sitio de absorción de Mg en los ovinos, mediante transporte activo, y Capen y Rosol (1989) mencionan que, de acuerdo con Tomas y Potter y con Kolb, también hay absorción de Mg a nivel ruminal. La eficiencia de absorción del Mg es baja y depende de la concentración del mineral en la dieta (Georgievskii, 1982; Yano et al., 1991). La absorción del Mg se afecta negativamente por la edad (Yano et al., 1991), en presencia de grasa, Ca, sulfatos, fosfatos, ácido fítico y ácido oxálico (Georgievskii, 1982). El Mg absorbido se deposita sobre todo en hueso y músculo y es utilizado para la producción láctea (Yano et al., 1991). De hecho, los animales con mayor necesidad del mineral son los que se encuentran lactando (Underwood, 1981; McDonald et al., 1988; Naylor, 1991). Los ovinos eliminan el Mg metabolizado en el organismo principalmente a través de la orina; la elevación en el consumo de K disminuye la pérdida urinaria de Mg, en tanto el incremento en la ingestión de agua la aumenta. La pérdida fecal de Mg es insignificante (Viana y Zometa, 1978; Georgievskii, 1982).

En rumiantes, la deficiencia de Mg provoca la tetania hipomagnesémica. Esta es una afección frecuente, conocida también como tetania de los pastos o de la lactancia; sin embargo, no es exclusiva de tales condiciones. Al parecer, por lo menos en bovinos hay susceptibilidad de raza y la mayor incidencia se presenta en animales pastoreando forrajes tiernos. La forma aguda aparece uno o dos días después del inicio del pastoreo y en la

crónica, la magnesemia disminuye con lentitud. A veces la signología se manifiesta por condiciones de estrés, como son las condiciones ambientales extremas. Además, los animales adultos no pueden disponer del Mg óseo con la misma rapidez que los jóvenes (NRC, 1980; McDonald et al., 1988): los jóvenes pueden movilizar hasta el 30% y los adultos sólo el 2% (NRC, 1985). La etiología exacta de la tetania hipomagnésica en los rumiantes no se ha dilucidado totalmente, pero sí se sabe que la deficiencia de Mg en la dieta contribuye (Church y Pond, 1988; McDonald et al., 1988). Se cree que la posible causa sea un desequilibrio catiónico en la dieta (McDonald et al., 1988). Se ha visto que raciones libres de Mg deprimen el consumo voluntario hasta un 32% respecto a los controles; esto después de consumir las dietas por cuatro días (Viana y Zometa, 1978). Larvor (1978) indica el desarrollo de anemia por deficiencia de Mg, resultado de una hemólisis progresiva debida a la inhibición de enzimas Mg dependientes del metabolismo de la glucosa, particularmente la pentosa invertasa, la cual es vital para la sobrevivencia de los glóbulos rojos.

La intoxicación por Mg de origen dietario no se ha reportado (NRC, 1980; Church y Pond, 1988). Los signos de intoxicación son: disminución del consumo de alimento, diarrea, pérdida de reflejos y depresión cardiorrespiratoria (Church y Pond, 1988).

AZUFRE. El S en la naturaleza se encuentra en estado elemental, como sulfhidrilos y como sulfatos (Georgievskii, 1982). Los suelos de zonas húmedas por lo general son deficientes en S. Además, la práctica de quemar los pastos secos ocasiona la pérdida de hasta 75% del S en el suelo por volatilización. Por otra parte, una fertilización con elevadas cantidades de S, disminuye la absorción del Se por el trébol, maíz y sorgo (Shirley y Padgett, 1978). En las plantas ayuda a la síntesis de clorofila, fomenta el desarrollo del vegetal, promueve el desarrollo de las raíces, estimula la formación de las semillas. En las leguminosas promueve la formación de nódulos y es constituyente esencial de muchas proteínas (N.P.F.I. 1974; Ortiz y Ortiz, 1990). En los vegetales el S está en estado no oxidado y se conoce como S neutral, formando parte de las proteínas como aminoácidos azufrados (cistina, cisteína y metionina). La concentración del elemento en las plantas depende directamente del contenido proteico y éste varía según la especie vegetal, estado de madurez, medio ambiente y nutrientes disponibles. Cuando los vegetales cubren

sus necesidades de S para producir proteínas, el excedente lo acumulan en forma de sulfatos (Shirley y Padgett, 1978). El chícharo, frijol de soya, el heno, la leche deshidratada y las harinas de origen animal son alimentos ricos en S (Georgievskii, 1982). El contenido promedio de S en alimentos comunes es de aproximadamente 0.1% (NRC, 1985).

El S en el organismo animal se encuentra en forma inorgánica (sulfatos, sulfitos, sulfuros, tiosulfatos, tetratonatos, tiocianatos) y en forma orgánica (tioles y grupos disulfuro, tioésteres, compuestos sulfónicos, ésteres de ácido sulfúrico y otros compuestos). La distribución en el cuerpo es muy amplia. Constituye entre el 0.16 y 0.23% del peso vivo y su contenido aumenta con la edad; el 50% del S total está concentrado en el tejido muscular, 5-17% en tejido córneo, piel, pelo; 6-7% en sangre, 5-6% en hígado y el restante en otros tejidos. En la sangre, los leucocitos contienen la mayor cantidad de S, 290 mg/dl; los eritrocitos, 165 mg/dl, y el plasma, 140 mg/dl. El 80% del S plasmático es de origen proteico y está sujeto a fluctuaciones debidas a la alimentación (Georgievskii, 1982). En la sangre sólo hay una pequeña cantidad de sulfatos (McDonald et al., 1988; Thompson y Fowler, 1990; Grace y Lee, 1992). Se conoce que la relación N:S en el organismo es de 15:1 y ovinos alimentados con dietas con relación 1:9 presentaron mejoras en el desarrollo corporal (Thompson y Fowler, 1990).

La lana es un tejido con alto contenido de S (4%), el cual se encuentra como cisteína. Su concentración está relacionada con el nivel de suplementación de aminoácidos azufrados, así como con el status de Cu, además de depender de la raza y de la producción de lana. El crecimiento de la lana responde a la administración de aminoácidos azufrados ya sea abomasal, intravenosa o intraperitonealmente (Grace y Lee, 1992). En lana la proporción N:S es 5:1 (Shirley y Padgett, 1978; Thompson y Fowler, 1990). Aunque la fibra proveniente de ovinos altos productores tiene un bajo contenido de S, la relativamente gran masa de crecimiento de la lana resulta en una mayor tasa de incorporación del elemento a la fibra (Williams, 1995).

El S en la cisteína forma parte de los grupos sulfhidrilo y en la cistina, de los puentes disulfuro; los grupos sulfhidrilo activan deshidrogenasas y esterasas. La metionina es fuente de grupos metilo para sintetizar colina, acetilcolina, adrenalina y creatinina;

además, participa en la síntesis de proteínas. La cisteína es precursor de la CoA y participa en la síntesis de glutatión; los ésteres de ácido sulfúrico forman parte del sulfato de condroitina y de mucoitina, así como de la heparina (Georgievskii, 1982). El S también forma parte de la biotina, tiamina e insulina (McDonald et al., 1988; Grace y Lee, 1992).

Los requerimientos de S son cubiertos por aminoácidos azufrados principalmente, compuestos heterocíclicos como biotina y tiamina y por S inorgánico (sulfatos, sulfitos). El S orgánico es absorbido en el intestino delgado sin sufrir cambio alguno; los aminoácidos son absorbidos previa desnaturalización de las proteínas; el S inorgánico es absorbido en poca cantidad por transporte activo en la parte alta del intestino delgado (Church y Pond, 1988). Los niveles de proteína y energía determinan la absorción y eliminación de los aminoácidos azufrados (Georgievskii, 1982). El S inorgánico se excreta principalmente por las heces y la orina. El S no absorbido quizá sea reducido en la porción inferior del TGI y sea excretado como sulfatos. El S endógeno penetra al aparato digestivo a través de la bilis como parte del ácido taurocólico. En la orina, el S se encuentra como inorgánico o componente del tiosulfato, taurina, cistina y de otros componentes orgánicos (Church y Pond, 1988). La lana es considerada otra ruta importante de eliminación para el S (Georgievskii, 1982).

La deficiencia de S puede presentarse cuando la mayor parte del N dietario es aportado por urea (McDonald et al., 1988; Thompson y Fowler, 1990; I.N.R.A., 1990). La signología de deficiencia de S es parecida a la de deficiencia de proteína. En los ovinos se manifiesta con bajas o nulas ganancias de peso, disminución en la producción láctea y de lana. Además, los microorganismos ruminales no realizan adecuadamente su metabolismo. La metionina es el principal compuesto azufrado en la alimentación animal. Una deficiencia de este aminoácido en los animales jóvenes disminuye el crecimiento y desarrollo y en adultos disminuye la productividad (Georgievskii, 1982). Sin embargo, la metionina administrada oralmente a los rumiantes más que una fuente de aminoácidos, es una fuente de S, ya que casi es totalmente degradada por la microbiota ruminal (Shirley y Padgett, 1978).

Los rumiantes tienen poca tolerancia al exceso de S. Aproximadamente tres veces su necesidad y elevados consumos del mineral pueden afectar la absorción de Cu

(Thompson y Fowler, 1990). El exceso de aminoácidos azufrados no presenta características que lo distinguan del exceso de otros aminoácidos. La intoxicación por S inorgánico no es un problema común, ya que su absorción es muy pobre. El S elemental se conoce como un elemento poco tóxico (Church y Pond, 1988); su toxicidad depende en gran parte de la capacidad del animal para formar ácido sulfhídrico. Esto sucede en el rumen por los microorganismos, con mayor rapidez que con la que se genera el amonio, el ácido sulfhídrico es absorbido a través de la pared ruminal afectando el metabolismo oxidativo, inhibiendo la acción de enzimas como catalasa, peroxidasas, dopa-oxidasas, deshidrogenasas, anhidrasa carbónica y dipeptidasas, además de afectar el cuerpo carotideo con la consecuente inhibición de la respiración (Bulgin, et al., 1996).

MICROMINERALES.

El consumo de minerales traza en los ovinos en pastoreo no es constante porque la composición mineral de la pastura varía con la estación y el consumo de M. S. cambia dependiendo de las demandas del animal, así como de la cantidad y calidad del forraje disponible (Grace y Lee, 1990).

SELENIO. Es el único micromineral estrechamente regulado por la FDA (Food and Drug Administration) en E.E.U.U., ya que existe evidencia de que elevados niveles de consumo pueden ser carcinogénicos y bajos niveles anticarcinogénicos (Church, 1991), además de que las necesidades están casi en el límite con los niveles tóxicos (Underwood, 1981).

Este elemento, al igual que el S, no es propiamente un metal; ambos son análogos debido a su configuración electrónica similar (NRC, 1980; Georgievskii, 1982). En la naturaleza, el Se forma mezclas con sulfuros, molibdatos, fosforita y S. No se considera un nutriente esencial para las plantas, sin embargo, se encuentra en ellas como aminoácidos contenedores de Se y como selenitos y selenatos. El nivel óptimo de Se en los alimentos es de 0.1 ppm; niveles menores son considerados deficientes y concentraciones de 5-8 ppm son consideradas tóxicas (Georgievskii, 1982). En forrajes su concentración depende de la especie y tipo de suelo (Keen y Graham, 1989) y oscila entre 0.4-0.8 ppm; depende también

del grado de irrigación, ya que ésta ocasiona el agotamiento del mineral en la capa superior del suelo y, en consecuencia, disminuye la concentración del elemento en los cultivos y praderas (Langlands et al., 1981; Smart y Cymbaluk, 1991). Los niveles tóxicos que puede alcanzar el Se en el forraje dependen, además de la especie, del contenido de proteína y S (NRC, 1985). Es importante señalar que los compuestos de Se son más tóxicos que los de Mo, arsénico (As) y V (Georgievskii, 1982).

La concentración de Se en el organismo animal es de 20-25µg/kg P.V. y varía dependiendo de la dieta y la edad (Ammerman et al., 1978; NRC, 1980; Georgievskii, 1982). La distribución de Se en el cuerpo es semejante a la de S: en músculo, 50-52%; piel, pelo y tejido córneo, 14-15%; esqueleto, 10%; hígado, 8%; otros tejidos, 15-18%. El 70% del Se en sangre se encuentra en los eritrocitos (Georgievskii, 1982) y la concentración en el plasma es menor en animales jóvenes (Smart y Cymbaluk, 1991).

Se reconoce que los tocoferoles y el Se son antioxidantes. Las posibles funciones del Se son: 1) fijación del grupo sulfhidrilo de aminoácidos y proteínas, así como el mantenimiento de las proteínas; 2) participación en la síntesis de la CoQ y, por ende, en la fosforilación oxidativa; 3) efecto en el cambio de permeabilidad de la membrana (Georgievskii, 1982); 4) constituyente de la glutatión peroxidasa, que cataliza la reducción de hidrógeno (H) y peróxidos orgánicos a grupos oxhidrilo (OH) y agua y el nivel de esta enzima puede considerarse como un mejor indicador del nivel dietario de Se que la concentración del elemento (NRC, 1980; Georgievskii, 1982; NRC, 1985; Church y Pond, 1988; Keen y Graham, 1989; Smart y Cymbaluk, 1991).

El ovino absorbe al Se en el duodeno contra un gradiente de concentración, quizá como selenometionina o selenocistina, ya que la microflora ruminal puede incorporar el Se dietario a aminoácidos (Church y Pond, 1988). Los rumiantes absorben menores cantidades del mineral que los no rumiantes, debido a que el selenito se reduce a formas insolubles en el rumen (Keen y Graham, 1989). Los animales deficientes absorben mayores cantidades y la absorción de Se orgánico es mayor que la de Se inorgánico. En el intestino grueso no hay absorción ni excreción del mineral (Georgievskii, 1982). El contenido en la dieta de S, proteína, especialmente aminoácidos azufrados, y P afectan tanto la absorción como la

excreción de Se (Keen y Graham, 1989); la vitamina A y E facilitan la absorción, en tanto, la vitamina C, sulfatos, Cu, Ca, plata (Ag), As, nitratos y ácidos grasos insaturados la inhiben (Millar, 1983; Smart y Cimbaluk, 1991). Una vez absorbido el Se pasa a la sangre, donde se liga a la albúmina (forma en la que se transporta), y a la fracción beta y gamma de las globulinas; posteriormente, pasa a los tejidos, donde se almacena como selenometionina y selenocistina (Church y Pond, 1988). Pequeñas cantidades de Se son incorporadas a compuestos azufrados como glutatión, tiamina y biotina. La pérdida de Se, cualquiera que sea la vía de administración, es por heces, 30-35%. La forma de excreción es principalmente insoluble; la excreción endógena del elemento es vía biliar, asociado a taurina. En orina se pierde 30-35% y esta forma de excreción aumenta directamente con el Se dietario y por la vía pulmonar se excreta de 2-3% como dimetilselenito (Georgievskii, 1982).

La vitamina E y Se, aun cuando ejercen un efecto sinérgico en el organismo, no son totalmente intercambiables y cada uno tiene sus funciones biológicas, de modo que Georgievskii (1982) señala tres grupos de enfermedades causadas por deficiencia de vitamina E y Se. Para los rumiantes son importantes las enfermedades curables por Se, pero no por vitamina E, refiriéndose a la enfermedad del músculo blanco, la cual está asociada a la peroxidación excesiva de lípidos, particularmente de la mitocondria. Esto resulta en degeneración, necrosis y fibrosis de la fibra muscular (Underwood, 1981; Georgievskii, 1982; NRC, 1985; Church y Pond, 1988). Millar (1983) indica que cuando la cantidad de Se es muy poca, los tejidos retienen Ca, lo cual al parecer se relaciona con el color blanquecino de los tejidos en la enfermedad del músculo blanco. Por deficiencia de Se hay alteración en la inmunocompetencia (Keen y Graham, 1989), retraso del crecimiento, disminución en la producción de lana y disfunción reproductiva (Georgievskii, 1982). Millar (1983) y Van Niekerk y van Niekerk (1990), citando a otros autores, mencionan que la reproducción de borregas se mejoró después de la suplementación con Se y las hembras deficientes presentaron ciclos estrales y concibieron, pero hubo reabsorción embrionaria al momento de la implantación. En vacas deficientes en el elemento se eleva la tasa de retención placentaria.

El exceso de Se causa toxicidad, produciendo cuadros agudos donde se presentan movimientos y posturas anormales, disnea, diarrea y muerte rápida. El cuadro crónico es

ocasionado por el consumo durante semanas o meses de plantas acumuladoras de Se; hay ceguera, vacilación, dolor abdominal, parálisis; la muerte resulta de una falla respiratoria (Keen y Graham, 1989). En rumiantes y equinos la enfermedad del álcali es causada por elevado consumo de Se, 5-50 ppm, durante periodos prolongados. Hay emaciación, falta de vitalidad, atrofia cardiaca, erosiones de articulaciones de los huesos largos, cirrosis hepática y anemia. El Se es teratógeno y en hembras gestantes afecta el desarrollo del embrión y feto (Georgievskii, 1982; NRC, 1985; Church y Pond, 1988; Keen y Graham, 1989).

COBRE. En la naturaleza se encuentra en vetas como sulfuro de Cu (Georgievskii, 1982). El Cu en las plantas es un portador de electrones en enzimas participantes en los procesos de óxido-reducción que son esenciales para el desarrollo y reproducción. Regula la respiración y ayuda en la utilización de Fe y en la asimilación de N y de almidón; participa en la fotosíntesis, mejorando la estabilidad de la clorofila (Georgievskii, 1982; Ortiz y Ortiz, 1990). La concentración de Cu en los vegetales varía de acuerdo con la especie, tipo de suelo, estado vegetativo y uso de fertilizantes con Cu. Las harinas de linaza y alfalfa, así como el bagazo seco, melaza y harina de hueso son alimentos ricos en el mineral (Georgievskii, 1982; Davis y Mertz, 1987). Los productos lácteos y el azúcar son pobres en él (Keen y Graham, 1989).

La concentración de Cu en los tejidos animales permite clasificar a los mismos como: bajos en Cu (hipófisis, tiroides, timo y gónadas), intermedios (músculo, piel, bazo, páncreas y hueso) y altos (hígado, cerebro, corazón y pelo). El músculo esquelético, debido a su masa contiene 1/3 del Cu total del organismo (Davis y Mertz, 1987; Keen y Graham, 1989). El rumiante, en especial el ovino, tiende a acumular más cantidad de Cu en el hígado que otras especies (Georgievskii, 1982; Keen y Graham, 1989). Esta concentración es menor en recién nacidos y continúa acrecentándose a lo largo de la vida del animal (Davis y Mertz, 1987). Los tejidos pigmentados del ojo tienen elevadas concentraciones de Cu asociado con melanina; el iris del ovino contiene 50 ppm (Davis y Mertz, 1987; Keen y Graham, 1989).

En la sangre, la concentración de Cu es muy semejante a la del plasma y suero. Esto es porque el mineral está distribuido constante y uniformemente entre los glóbulos

rojos y el plasma (Georgievskii, 1982; Keen y Graham, 1989). La mayor cantidad de Cu plasmático se halla ligado a la alfa globulina 2, en la forma de ceruloplasmina, la cual contiene 0.34% de Cu (Georgievskii, 1982; Davis y Mertz, 1987; Church y Pond, 1988) y en menor cantidad se liga a albúmina y aminoácidos. Hay una correlación elevada entre la concentración de ceruloplasmina sérica y la concentración de Cu sanguíneo (Davis y Mertz, 1987), Cu plasmático y hepático (Georgievskii, 1982). En mamíferos, la mitad del Cu sanguíneo se encuentra en el eritrocito, donde 40% se acompleja con aminoácidos y el 60% se liga firmemente a la super óxido dismutasa (SOD) (cataliza la dismutación del anión superóxido a peróxido de hidrógeno) y la medición de esta enzima da una buena aproximación del status de Cu en el animal. La concentración sanguínea de Cu presenta diferencias debido a la raza, particularmente marcadas con relación al almacenamiento hepático del metal y su utilización (Davis y Mertz, 1987). Coelho y Cháves (1978) señalan que dicha concentración se altera al inicio de la gestación y también por acción de los estrógenos. Cabe señalar que las concentraciones de Cu en hígado, sangre, bazo, cerebro, huesos y pulmones responden a variaciones en el aporte del mineral en la dieta (Davis y Mertz, 1987; Church y Pond, 1988).

El pelo es un buen material para conocer el status de Cu en el animal. La concentración del mineral en la lana depende altamente de la naturaleza de la dieta y es extremadamente variable. Varios investigadores señalan concentraciones desde 2 hasta 25 ppm. Estos niveles disminuyen con la administración de molibdatos y/o sulfatos; además, es necesario considerar la contaminación como factor de variación (Davis y Mertz, 1987).

El Cu en el organismo animal se presenta en dos estados Cu^{2+} (cuproso) y Cu^{3+} (cúprico). El Cu participa en la hematopoyesis, donde incorpora Fe a la estructura del grupo hem y ayuda a la maduración de los eritrocitos. Ayuda a la osteogénesis, interviene en la queratinización y pigmentación del pelo y forma parte de las cuproproteínas con funciones enzimáticas: citocromo oxidasa C (componente terminal de la cadena de transporte de electrones), ceruloplasmina (ferroxidasa I, es requerida para la incorporación de Fe del hígado a la transferrina para su transporte al tejido extrahepático), lisiloxidasa (cataliza la oxidación específica de residuos lisil e hidroxilisil, en colágeno soluble y elastina, paso

crítico para la ligadura cruzada del tejido conectivo), tirosinasa (participa en la formación de melanina), dopamina β monooxigenasa (producción de catecolaminas) (Georgievskii, 1982; Keen y Graham, 1989, Smart y Cymbaluk, 1991), galactosa oxidasa, uricasa, dihidroxifenilalanina-amino-betahidroxilasa, diaminooxidasa, monoaminooxidasa, benzilaminooxidasa (las amino oxidasas son necesarias para extraer de la lisina el grupo amino en la formación de desmosina e isodesmosina, grupos clave en los enlaces de elastina) y xantinooxidasa. El ión cúprico es activador específico del sulfidooxidasa y de tirosinaiodooxidasa; además mantiene la actividad de hormonas hipofisarias lábiles en la sangre (Georgievskii, 1982; Church y Pond, 1988). El Cu no enzimático está involucrado en la liberación de neuropéptidos del cerebro (Keen y Graham, 1989).

La mayor parte del Cu se absorbe en la parte superior del intestino delgado; en el ovino ocurre una absorción considerable en el intestino grueso (Keen y Graham, 1989) y en los pre-estómagos (Georgievskii, 1982). Grace (1983) señala que la mayor absorción se lleva a cabo en el intestino grueso. Al parecer la absorción intestinal es regulada por la necesidad del organismo y es mayor cuando se presentan deficiencias. El Cu se absorbe por un mecanismo de transporte activo, saturable, que funciona cuando las concentraciones del mineral son bajas; cuando dichas concentraciones son más elevadas, el mecanismo funcional es la difusión simple, el cual no es saturable (Davis y Mertz, 1987). El Cu de origen vegetal se absorbe principalmente como complejos solubles estables y no en forma iónica. Los rumiantes absorben mejor el metal que los monogástricos, además de tener mayores necesidades de Cu sobre todo durante la lactancia (Georgievskii, 1982). La absorción del metal disminuye en pH elevado (Coelho y Cháves, 1978; Church y Pond, 1988) y por sustancias no identificadas presentes en bilis, jugo pancreático, secreciones gástricas e intestinales. El ácido ascórbico reduce el Cu a Cu^{2+} y/o forma complejos muy estables, por lo que disminuye la absorción; la proteína de la dieta promueve la absorción. El Cd, Ag, mercurio (Hg), Ca, Fe, y Zn son antagonistas del Cu (Davis y Mertz, 1987). Dentro del enterocito, el Cu regula la síntesis de metalotioneína (MT). Esta proteína liga el exceso del metal y lo remueve de la circulación sistémica a la portal; al parecer el hepatocito puede

servir como almacén a corto plazo de Cu ligado a MT. Este complejo se pierde con la descamación intestinal (Keen y Graham, 1989).

El Cu absorbido es fijado principalmente por el hígado, médula ósea, bazo, páncreas y en animales jóvenes, en las epífisis. Elevadas proporciones de Cu ingerido aparecen en las heces; parte de él es de origen alimentario y parte es endógeno, el cual llega al tracto gastrointestinal (TGI) a través de la bilis y en menor cantidad, con otros jugos digestivos (Georgievskii, 1982; Grace, 1983; Davis y Mertz, 1987). El rumiante excreta vía biliar menor cantidad de Cu que los monogástricos; una cantidad mínima del Cu endógeno sale con la orina. Es importante señalar que la homeostasis del Cu está regulada principalmente por su excreción (Georgievskii, 1982).

Los efectos de la deficiencia de Cu varían con la edad y especie animal (Georgievskii, 1982). Durante el desarrollo temprano afecta negativamente el desarrollo del sistema inmune de varias especies: ovinos, bovinos, ratones y humanos; en bovinos hay pérdida del apetito, anemia, diarrea, emaciación, arrugamiento de la piel, fracturas espontáneas, acromotriquia. En ovinos adultos se presentan los mismos signos, además de un crecimiento retardado de la lana, así como pérdida del lustre y rizado de la misma. Los corderos manifiestan el cuadro conocido como ataxia enzoótica (Georgievskii, 1982; Keen y Graham, 1989), donde hay parálisis espástica (principalmente de miembros posteriores), incoordinación severa, ceguera, anemia, daño cerebral severo (Keen y Graham, 1989). El daño al sistema nervioso central se atribuye a la disminución de la actividad de la citocromo oxidasa (Grace, 1983; Davis y Mertz, 1987; Keen y Graham, 1989), lo cual resulta en una disminución en la producción de fosfolípidos que son importantes en la constitución de la mielina (Grace, 1983). Se ha encontrado que una deficiencia inducida de Cu retarda el inicio de la estación reproductiva en borregas Mutton Merino sudafricanas, pero una vez que dicha estación se presenta, los ciclos estrales y la concepción son normales. Aun cuando estas ovejas desarrollaron bajas concentraciones de Cu en sangre y concentraciones de progesterona menores a las normales, la gestación transcurrió con normalidad; sin embargo, los corderos de estas hembras nacieron débiles, presentándose elevada tasa de mortalidad y baja tasa de crecimiento (van Niekerk y van Niekerk, 1990). La necesidad de Cu en los

ovinos está influida por factores genéticos y dietarios; de estos últimos, las concentraciones de S y Mo son los más importantes. Al parecer el S ejerce un efecto independiente en la disponibilidad del metal, pero el efecto del Mo depende del S (Suttle, 1975; Suttle y Field, 1983).

Los ovinos son los animales domésticos más susceptibles a la intoxicación por Cu, que ocurre por elevados consumos del metal durante cierto tiempo o por bajos consumos de Mo (Grace, 1983; Davis y Mertz, 1987), o bien, por alguna lesión hepática producida por el consumo de ciertas plantas venenosas (Underwood, 1981). La toxicosis presenta dos fases. Durante la primera hay acumulación hepática del metal y se eleva la concentración de varios enzimas (aspartato aminotransferasa sérica, lactato deshidrogenasa, sorbitol deshidrogenasa, arginasa, deshidrogenasa glutámica); hay inflamación y necrosis de hepatocitos y células de Küpfer (Davis y Mertz, 1987; Keen y Graham, 1989). Este proceso puede tomar unas pocas semanas o hasta más de un año antes de que los signos de intoxicación se manifiesten (Grace, 1983). La segunda fase es la crisis hemolítica; el Cu y la urea sanguíneos, la metahemoglobina y la creatinincinasa aumentan. Los cambios tienen lugar en la membrana celular del tejido muscular, hepático, renal y cerebral; disminuyen la hemoglobina y el glutatión; debido a cambios internos en el eritrocito se presenta hemólisis (NRC, 1980; Davis y Mertz, 1987; Keen y Graham, 1989).

HIERRO. El Fe es un metal pesado, que se encuentra en la naturaleza principalmente como óxido y sulfuro, casi nunca en estado elemental. En el suelo es considerado un mineral secundario, encontrándose como hematita o limonita. Es un micronutriente para las plantas, esencial para la síntesis de proteínas en los cloroplastos y ayudando en la formación de clorofila. Una deficiencia de este metal causa clorosis, ayuda a la absorción de otros nutrientes y participa en sistemas enzimáticos que originan las reacciones de oxido-reducción en la planta (Ortiz y Ortiz, 1990). Los forrajes contienen concentraciones elevadas, pero variables de Fe, lo cual depende sobre todo de la especie (las leguminosas contienen más que las gramíneas), tipo de suelo (Underwood, 1981; Morris, 1987), edad, contaminación. El metal en las plantas forma complejos lábiles con ácidos orgánicos, proteínas y carbohidratos. Las harinas de oleaginosas, trigo, bagazo, harinas de

sangre y pescado son alimentos ricos en Fe, en tanto la leche, los granos cerealeros y los tubérculos son considerados pobres (Georgievskii, 1982).

El contenido total de Fe en el cuerpo animal varía de acuerdo con la especie, edad, sexo, estado nutricional y de salud (Morris, 1987). Este metal puede catalizar radicales libres a partir de H^+ y oxígeno molecular (O_2), lo que para los materiales biológicos tendría fatales consecuencias. Por esta razón el Fe intracelular está ligado a varias proteínas o quelatos, lo cual reduce su toxicidad. Dichas proteínas y quelatos son responsables de la absorción, almacenamiento y actividad biológica del metal (Smith, 1989).

En el organismo, el Fe se encuentra en muy poca cantidad como Fe^{2+} (ferroso) y la mayor cantidad formando parte de compuestos orgánicos: **Fe hem** (70-75% del total, este grupo incluye a la hemoglobina (Hb), mioglobina y enzimas con el grupo hem: citocromos, citocromo oxidasa, catalasa, peroxidasa) y **Fe no hem** (25-30%, incluye a la transferrina, ferritina, hemosiderina, ferroflavoproteínas).

Las mayores concentraciones de Fe están en sangre y órganos hematopoyéticos. Tres cuartas partes del Fe total se encuentran en dos proteínas: mioglobina (en músculo estriado) y Hb (en sangre) (Georgievskii, 1982; Smith, 1989). Cada molécula de Hb contiene 4 átomos de Fe, lo que representa el 0.334% del peso molecular (Morris, 1987; Smith, 1989). La unión entre el Fe y la globina estabiliza al metal en estado Fe^{2+} y permite que se ligue el O_2 . La Hb total es proporcional al peso corporal; además, presenta variaciones debidas a la altitud, edad, sexo, estado nutricional, de salud y fisiológico (Morris, 1987). La mayor cantidad de Fe en la sangre se encuentra en el eritrocito, principalmente en forma de Hb, y una pequeña cantidad de ferritina y formas no hem (Georgievskii, 1982). La Hb es un pigmento de vida relativamente corta, ya que la vida de los glóbulos rojos del ovino es de 50 días (Larvor, 1983). En el plasma se encuentra la transferrina, una beta globulina con dos átomos de Fe^{2+} , que es el principal acarreador del metal en sangre. El 35% de esta globulina está saturada con Fe y el 75% se encuentra libre. A este porcentaje que se le conoce como capacidad fijadora de Fe y varía con la edad, especie e individuo. En suero también se encuentra la ferritina sérica. Hay una correlación

alta entre la concentración de esta proteína y el almacén de Fe (Morris, 1987). La ferritina es, junto con la hemosiderina, el principal compuesto de almacén de Fe (Smith, 1989).

Las funciones del Fe están asociadas con las moléculas de las que forman parte. La Hb y mioglobina participan en el almacén y transporte de oxígeno. Las enzimas con grupo hem, citocromo A y citocromo oxidasa C, intervienen en la fosforilación oxidativa; la catalasa y la peroxidasa, descomponen grupos peróxido; los compuestos sin hem, succinato deshidrogenasa y NADH deshidrogenasa, participan en la transferencia de electrones; la xantina oxidasa, en el metabolismo de bases púricas y pirimídicas (Georgievskii, 1982; Smart y Cymbaluk, 1991) y, finalmente, la ferritina y transferrina, en la reserva y transporte de Fe, respectivamente (Georgievskii, 1982; Morris, 1987; Smith, 1989).

Las necesidades de Fe están influenciadas por la edad, la tasa de crecimiento y la disponibilidad del metal en el alimento (Smith, 1989). Para llevar a cabo la absorción, primero el Fe es captado por la pared intestinal y después transportado a la sangre a través de los enterocitos. El Fe no pasa a la circulación linfática (McDowell et al., 1978; Georgievskii, 1982). Principalmente se absorbe como Fe^{2+} (Church y Pond, 1988). El Fe hem se absorbe independientemente de la composición de la dieta y rápidamente, según Smith (1989); contrariamente, Georgievskii (1982) afirma que este tipo de compuestos es pobremente absorbido. El Fe no hem es poco disponible y su absorción se ve fuertemente afectada por otros ingredientes de la dieta (Morris, 1987; Smith, 1989). El duodeno es el principal sitio de absorción. El proceso es más eficaz en condiciones ácidas; así, la absorción en estómago y duodeno es mucho mayor que en ileon (Morris, 1987; Church y Pond, 1988). Debido a la inestabilidad del metal, éste podría causar daño a la membrana celular, por lo que probablemente se une a la apoferritina (porción proteica de la ferritina). El Fe captado por el enterocito es retenido en la célula. Cuando se satura se impide la absorción hasta que la ferritina es liberada a la sangre. En ratas se ha observado que sólo una pequeña porción del Fe ingerido y captado por la mucosa intestinal es transferida al torrente sanguíneo y retenida por el animal; el remanente permanece en las células mucosas durante la migración, desde la cripta a las puntas de la vellosidad, y se pierde con la descamación (Morris, 1987; Smith, 1989). Los factores que afectan la absorción de Fe son diversos: edad, status del

metal, estado de salud del animal, condiciones imperantes en TGI, cantidad y forma química del mineral ingerido, cantidades y proporciones de otros compuestos de la dieta (Morris, 1987). Las sustancias antioxidantes en el alimento como la vitamina C y el tocoferol, grupos sulfhidrilo, aminoácidos azufrados y el glutatión, facilitan la absorción del metal; en tanto, los ácidos orgánicos y los fosfatos en exceso la inhiben y el rápido tránsito intestinal la dificulta (Georgievskii, 1982). Elevados niveles de Co, Zn, Cd, Cu y Mn interfieren con la absorción del Fe por competencia con los sitios que ligan el metal (McDowell et al., 1978; Morris, 1987). En casos de deficiencia de Fe, de vitamina B₆, o eritropoyesis elevada, la absorción del mineral aumenta. En casos de policitemia transfuncional o deficiencia severa de Cu (ratas) sucede lo contrario (Morris, 1987). Los adultos requieren poco Fe en su alimentación, ya que el Fe porfirínico liberado con la lisis de los eritrocitos se reutiliza casi totalmente (Georgievskii, 1982).

El Fe en sangre es distribuido a órganos como hígado, bazo, médula ósea y otros tejidos, donde se almacena como ferritina o hemosiderina. La incorporación de la transferrina plasmática a la ferritina hepática necesita ATP y está relacionada con la reducción de Fe³⁺ (ferroso) a Fe²⁺, lo que permite quede disponible para la formación de ferritina (Church y Pond, 1988). La ceruloplasmina interviene en la movilización de Fe desde la ferritina hepática hacia el plasma, donde es captado para ser utilizado en la síntesis de Hb, mioglobina y enzimas (Georgievskii, 1982).

La capacidad del organismo para la excreción de Fe es limitada; por lo tanto, la homeostasis de este metal se mantiene ajustando la absorción a las necesidades del cuerpo. Menos de 0.5% del Fe liberado en la lisis de eritrocitos aparece en la orina y heces (Morris, 1987). El Fe fecal es principalmente el de origen dietario que no se absorbe; el Fe endógeno se pierde principalmente por bilis y por la descamación intestinal (NRC, 1980; Georgievskii, 1982; Church y Pond, 1987). La aplicación de Fe endovenoso ocasiona que éste se pierda en pequeñas cantidades por la orina o heces; si la administración es parenteral y en exceso o se administran agentes quelantes, la pérdida urinaria aumenta (Church y Pond, 1988).

Morris (1987) y Church y Pond (1988) mencionan que debido a la continua redistribución de Fe en el organismo se puede hablar de circuitos metabólicos, siendo el más

importante el *plasma* → *médula eritroide* → *eritrocito* → *eritrocito senil* → *plasma* y subsidiarios: *plasma* → *ferritina y hemosiderina* → *plasma y plasma* → *mioglobina y enzimas contenedoras de Fe* → *plasma*.

La deficiencia prolongada de Fe ocasiona el desarrollo de anemia microcítica, hipocrómica acompañada de médula ósea normoblástica hiperplástica, conteniendo muy poca o nada de hemosiderina (Morris, 1987). Asimismo, la deficiencia del metal causa una disminución en la secreción gástrica de ácido clorhídrico y la fosforilación oxidativa se ve afectada (Morris, 1987; Smith, 1989). La concentración sérica de ácido fólico y la mioglobina disminuyen. En animales jóvenes esta deficiencia está asociada a dietas totalmente lácteas y al crecimiento rápido. En adultos, la ferodeficiencia resulta más que de un consumo inadecuado, de la excesiva pérdida del metal (Smith, 1989).

La toxicidad por Fe en rumiantes en pastoreo es muy poco frecuente. Se produce por consumo excesivo del metal durante largos periodos de tiempo. En cerdos y conejos se ha reportado intoxicación aguda (Church y Pond, 1988).

ZINC. Para los vegetales, el Zn es un micronutriente (Ortiz y Ortiz, 1990). Participa en los procesos de óxido-reducción, en la síntesis de clorofila, auxinas y triptófano (Georgievskii, 1982; Ortiz y Ortiz, 1990). El trigo, levaduras, cereales y leguminosas son considerados ricos en Zn. En los granos este metal se concentra en el endospermo y los alimentos de origen animal como las harinas de carne y hueso son más ricas en el metal que los de origen vegetal, 75-100 ppm contra 30-50 ppm, respectivamente (Georgievskii, 1982). Los productos lácteos son pobres en Zn. Los forrajes contienen 20-50 ppm (Keen y Graham, 1989) con una disponibilidad aproximada del 30% (Towers y Grace, 1983; Thompson y Fowler, 1990).

El Zn es uno de los cationes intracelulares más concentrados (Keen y Graham, 1989). La concentración de este metal en los órganos internos varía con la edad, sexo y aporte dietario. Los adultos tienen ligeramente mayores concentraciones del mineral que los animales jóvenes (Georgievskii, 1982). La concentración total de Zn se distribuye como sigue: el músculo contiene cerca del 65% (Keen y Graham, 1989); esqueleto, 28%; hígado y piel, 14-16%; sangre, 2-3 %, y otros órganos, 16-18% (Georgievskii, 1982). En sangre, la

concentración de Zn es diez veces superior a la del plasma. Church y Pond (1988) señalan que la proporción del metal entre las células y el plasma es de 9:1. La mayor parte de Zn intraeritrocitario se encuentra formando parte de anhidrasa carbónica. Hay varios factores que afectan la concentración plasmática del metal, como la hemólisis, el uso de citrato y EDTA como anticoagulantes y el material de colección de muestras (Keen y Graham, 1989). Smith (1989) y Smart y Cymbaluk (1991) mencionan que la mayoría de los tapones de tubos al vacío para colectar suero o plasma están contaminados con Zn. La determinación de Zn en los neutrófilos es la más sensible para conocer el status real del mineral, pero presenta la desventaja de requerir gran cantidad de sangre (10-20 ml) (Keen y Graham, 1989). En lana, la concentración de Zn es 20-30 veces superior a la de Cu (Grace y Lee, 1992).

Este metal actúa vía enzimas, de tres maneras: como componente estructural fuera del sitio activo, como donador de protones al sitio activo o como átomo puente entre el sustrato y la enzima. La carboxipeptidasa, fosfatasa alcalina, alcohol deshidrogenasa, anhidrasa carbónica y SOD son enzimas que contienen Zn (Church y Pond, 1988; Keen y Graham, 1989; Smart y Cymbaluk, 1991). El Zn afecta el crecimiento y desarrollo, osteogénesis, hematopoyesis, función reproductiva, metabolismo de proteínas y carbohidratos; en el metabolismo de ácidos nucleicos al parecer estabiliza la estructura del ADN, ARN y ribosomas (Georgievskii, 1982; Keen y Graham, 1989). Al ligarse el Zn a la membrana, altera su fluidez y estabilidad; esto lo logra por ligarse con grupo sulfhidrilo (Keen y Graham, 1989).

El Zn se absorbe principalmente en la parte superior del intestino delgado y en rumiantes la absorción es mayor (20-40%) comparada con la de los monogástricos (7-15%) (Georgievskii, 1982). En el abomaso del bovino se absorbe la tercera parte de Zn (Keen y Graham, 1989). Y es en este órgano y en duodeno donde la solubilidad del metal aumenta y con ello su absorción. La absorción es afectada por concentraciones de fitatos, Cd, Cu, agentes quelantes, vitamina D (Georgievskii, 1982; Smart y Cymbaluk, 1991), dietas elevadas en Ca (NRC, 1985; Smart y Cymbaluk, 1991), oxalatos, altas concentraciones de Fe, estaño (Sn) y ortofosfatos. Varios aminoácidos forman complejos con el Zn y la formación de estos complejos facilita su absorción. La vitamina C, lactosa, EDTA y citrato

también facilitan la absorción (Smart y Cymbaluk, 1991). Cabe señalar que los neonatos absorben cantidades mayores de Zn que los adultos y también la absorción aumenta cuando hay deficiencias del metal. Para el transporte de Zn a través del borde de cepillo intestinal se cree en la existencia de acarreadores. Dentro de la célula la mayor concentración del mineral está en el citosol asociado a proteínas de elevado peso molecular y MT. Los niveles entéricos de MT están directamente relacionados con la ingestión de Zn, aunque sustancias como glucocorticoides, glucagon, adrenalina, AMP_c, interferón e interleucina elevan su concentración (Keen y Graham, 1989). Una vez que el metal está en plasma, se liga en un pequeño porcentaje a aminoácidos (Georgievskii, 1982), una tercera parte se liga débilmente a la albúmina y dos terceras partes se liga con firmeza a globulinas (Church y Pond, 1988). Posteriormente, el Zn es captado por el esqueleto y otros tejidos suaves (Georgievskii, 1982); el hígado capta al Zn por un proceso dependiente de energía. Dentro del hepatocito, 50% del Zn se encuentra en el citosol y 50% asociado a MT (Keen y Graham, 1989). La MT tiene mayor afinidad por Cu que por Zn; sin embargo, éste último es mejor inductor de su síntesis que el Cu (Cousins, 1985; Davis y Mertz, 1987). El Zn distribuido en plasma, hígado, páncreas y esqueleto es considerado reserva rápidamente intercambiable, en tanto el que se encuentra en músculo y cerebro no se intercambia. El Zn endógeno se elimina por TGI, principalmente; las pérdidas por orina son insignificantes. Además, en los rumiantes se excreta por la saliva o directamente a través de la pared ruminal. Para mantener la homeostasis del Zn hay variaciones en la cantidad absorbida y excretada en heces (Georgievskii, 1982).

La deficiencia de Zn en rumiantes es poco frecuente debido a que los forrajes contienen elevadas cantidades de él. Experimentalmente se ha producido la deficiencia con pasturas que contienen 18-36 ppm y se ha visto rinitis y estomatitis, paraqueratosis, pelo áspero, rigidez articular. Como hallazgo de laboratorio, la fosfatasa alcalina en sangre y hueso disminuye. Cuando se presenta deficiencia de Zn, la excreción urinaria de S y N aumenta (Georgievskii, 1982, Thompson y Fowler, 1990) y se presentan fallas reproductivas sobre todo en machos: hay hipogonadismo, atrofia testicular y del epitelio seminal, se afecta la espermatogénesis y la producción de testosterona. Por otra parte, hay disminución en la

producción y liberación de hormona del crecimiento (GH), lo cual se atribuye principalmente a la disminución del consumo de alimento (Georgievskii, 1982; NRC, 1985; Church y Pond, 1988; Keen y Graham, 1989). Larvor (1983) señala que la deficiencia del metal provoca anosmia, disgeusia y ageusia, por lo que se presenta pica. Estas alteraciones explican parcialmente la anorexia y la disminución del crecimiento durante la deficiencia. Además, en casos severos los ovinos, presentan lana frágil, carente de rizos, de diámetro pequeño y puede ser desprendida con facilidad del animal, (Towers y Grace, 1983; Smart y Cymbaluk, 1991; Grace y Lee, 1992); y se presentan postitis y vulvitis (Smart y Cymbaluk, 1991).

En rumiantes es poco frecuente la intoxicación por Zn, ya que toleran hasta diez veces más la dosis recomendada. Se presenta cuando el consumo del metal excede 900 ppm; los signos están principalmente asociados al tejido epitelial. La concentración de Zn en hígado y leche aumenta, hay pérdida del apetito y diarrea por alteración del metabolismo del Cu (Georgievskii, 1982; NRC, 1985; Keen y Graham, 1989), la concentración cerebral y muscular del metal no se altera. El NRC (1985) menciona que la administración de 750 ppm del metal induce una deficiencia severa de Cu en borregas preñadas y causa una alta incidencia de abortos y mortinatos. Entre los factores que afectan la intoxicación por Zn se encuentran la cantidad de fibra dietaria, cantidad y duración de la alimentación con exceso del metal, edad, enfermedades concurrentes o previas, deficiencia de Fe o Cu (Cousins, 1985; Keen y Graham, 1989).

MINERALES Y MICROORGANISMOS RUMINALES.

Georgievskii (1982) y Thompson y Fowler (1990) mencionan que los organismos ruminales requieren Ca, P, Na, K, Mg, Cl, S, Mn, Cu, Co, Fe, Mo y Zn. El primer autor señala, además, la existencia de cuatro mecanismos de interacción con la microflora simbiótica:

- 1.- Hay una demanda competitiva porque el elemento es necesario para el organismo superior y los microorganismos. Dentro de esta categoría se incluyen el K, P, Fe,

Zn y Mo. El rumiante recibe los minerales necesarios cuando la sustancia microbiana es digerida (Georgievskii, 1982).

2.- El elemento es necesario principalmente para el microorganismo; éstos producen metabolitos requeridos por el animal. El Co es uno de ellos. La síntesis de vitamina B₁₂ tiene lugar en los pre-estómagos del rumiante (Georgievskii, 1982).

3.- El elemento es esencial para los simbioses, pero sólo puede ser asimilado por los microorganismos. En el caso del S, los mamíferos no cuentan con enzimas que garanticen el uso del sulfito. El compuesto de H y S que se forma en el rumen es oxidado a ácido sulfúrico, el cual es neutralizado subsecuentemente. Así, la necesidad de iones sulfato se satisface por los que se forman a partir del catabolismo de aminoácidos azufrados. Las bacterias son capaces de reducir los sulfatos a sulfitos e incorporarlos posteriormente a los aminoácidos azufrados y proteínas. Los sulfitos pueden atravesar la pared ruminal (Larvor, 1983). En el rumen se sintetizan aminoácidos partiendo de carbohidratos, amonio y S inorgánico (Shirley y Padgett, 1978; Georgievskii, 1982; Larvor, 1983).

4.- El elemento es esencial para el proceso metabólico del animal superior, pero también participa en la creación del medio óptimo para el mantenimiento de los microorganismos. Se incluyen al K, Na, Cl y P (Georgievskii, 1982).

Los microorganismos requieren mayores cantidades S, P, Mg, Ca y Fe y cantidades menores de Zn, Se y Cu (Gottschalk, 1988).

La concentración de S en rumen es de 50-500 mg/l (Georgievskii, 1982). El S en las bacterias es constituyente de la cisteína, metionina, tiamina, pirofosfato, CoA, biotina y ácido lipoico (Georgievskii, 1982; Gottschalk, 1988). Shirley y Padgett (1978) y Georgievskii (1982) sugieren que el S sirve a la microflora ruminal para digerir celulosa. Al parecer, la microbiota ruminal aprovecha mejor los sulfatos de Na que el S elemental (McDonald et al., 1988). Las bacterias metanogénicas sólo crecen en presencia de grupos sulfhidrilo como fuente de S (Gottschalk, 1988).

El P forma parte de ADN y ARN, fosfolípidos y nucleótidos (Gottschalk, 1988). Una deficiencia del elemento disminuye la actividad bacteriana, al igual que la digestión de la celulosa y hemicelulosa; además, disminuye la producción de ácidos grasos volátiles, de

ATP y la síntesis de N microbiano (Georgievskii, 1982; Church y Pond, 1988; McDonald et al., 1988; Abdelrahman y Kincaid, 1992).

El Mg es cofactor de varias enzimas quinasas, está presente en las paredes celulares, membranas, ribosomas y ésteres fosfato; el Ca forma parte de las exoenzimas (amilasa, proteasas) y paredes celulares; el dipicolinato de Ca es un importante componente de las esporas. En tanto, el Fe se encuentra presente en los citocromos, ferredoxinas y otras proteínas; además, es cofactor de deshidratasa (Gottschalk, 1988).

El Zn forma parte de la alcoholdehidrogenasa (Gottschalk, 1988). La microflora ruminal fija el metal, ya que la concentración del elemento en el líquido ruminal es inferior a la del alimento (Georgievskii, 1982; Smart y Cymbaluk, 1991). Así, mientras la dieta contiene 50 ppm en base seca, el fluido del rumen contiene entre 0.1 y 1 ppm (Georgievskii, 1982).

El Cu es constituyente de la citocromo oxidasa, nitrito reductasa (bacterias desnitrificantes) y oxigenasas (Gottschalk, 1988). La microbiota ruminal fija el elemento (Georgievskii, 1982; Smart y Cymbaluk, 1991). Cuando la dieta contiene 5 a 10 ppm de Cu en base seca, el líquido ruminal contiene entre 0.01 y 0.25 ppm del elemento (Georgievskii, 1982). El Se forma parte de la glicina reductasa. (Gottschalk, 1988).

CIRCULACIÓN DE MINERALES ENTRE EL TUBO DIGESTIVO Y EL ORGANISMO.

Existe recambio de agua y minerales entre el contenido del tubo digestivo y el resto del organismo. Ash y Kay, citados por Andrew y Phillipson (1970), estimaron el recambio de agua entre el organismo y el tubo digestivo del ovino. Las secreciones totales al interior del tubo varían entre 10 y 20 l o más en 24 h. La cantidad de agua ingerida raramente supera los 3 l/día y la que se excreta en las heces son unos cuantos ml diarios, por lo tanto el flujo de los alimentos a lo largo del tubo digestivo se mantiene con los grandes volúmenes segregados por el estómago y el intestino y reabsorbidos subsecuentemente (Andrew y Phillipson, 1970).

Ovinos que consumen 1 kg de alimento seco secretan 9.24 – 11.75 l de jugos digestivos. La secreción y la absorción de minerales mayores y/o menores a lo largo del TGI se dan simultáneamente y su intensidad muestra variaciones y poco se sabe de la participación individual de los segmentos del tubo digestivo en el metabolismo de los minerales. Los sitios de absorción y excreción y su intensidad dependen de varios factores entre ellos la edad del animal, el tipo de dieta y su contenido de minerales (Georgievskii, 1982).

Al desplazarse el quimo por el tubo digestivo las propiedades fisicoquímicas de varios segmentos del mismo cambian (proporción fase sólida : fase líquida, sustancias orgánicas y minerales, productos de la digestión , pH, etc.). Con esto las proporciones de compuestos minerales solubles e insolubles y asimilables y no asimilables varía también (Georgievskii, 1982).

El pH del TGI incrementa gradualmente a medida que el alimento pasa del estómago hacia el ano. Efectos asociados a este incremento son la formación de complejos pobremente solubles de P con Ca, Mg y otros cationes. De este modo las concentraciones de Ca y Mg totales aumentan. En tanto, la de P total y las de P, Ca, y Mg solubles, disminuyen. Poco se conoce sobre los factores que causan las variaciones en las concentraciones de formas totales y solubles de los minerales. Otro efecto es la adsorción de minerales en los compuestos orgánicos no digeridos del alimento. Así, a pesar de la absorción efectiva de minerales endógenos y exógenos, las formas relativamente insolubles se excretan con las heces.

Poco se conoce también acerca de la participación individual de los segmentos del TGI en el metabolismo de los minerales (Georgievskii, 1982). Grace (1975) trabajó con ovinos Romney Marsh con fistulas ruminales y cánulas re-entrantes en el duodeno proximal y en la parte terminal del ileon y señala que hay una secreción neta de Zn en la región estomacal y en el intestino delgado hay una absorción neta del elemento.

MUESTRAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO DE LOS MINERALES.

La determinación del metabolismo mineral a partir del contenido de elementos en los materiales biológicos, como son tejidos o productos del animal, está considerada como el método más conveniente para el estudio de los minerales (Georgievskii, 1982).

Las muestras de origen sanguíneo (sangre completa, suero o plasma) son usadas ampliamente para los estudios en nutrición animal, ya que en ocasiones reflejan el status mineral del animal, además de que pueden ser transportadas y almacenadas con facilidad. Al utilizar la concentración mineral sanguínea o de algún compuesto con el cual el mineral esté asociado funcionalmente para detectar y definir desórdenes, puede apreciarse que la variabilidad individual es con frecuencia alta y que los mecanismos homeostáticos proveen una corta protección contra las fluctuaciones dietarias, pero hay que considerar que concentraciones superiores o inferiores a las normales pueden estar condicionadas por otros factores, como son la presencia de otros minerales, edad, raza, estado fisiológico (Underwood, 1981; Forar et al., 1982; Haydon et al., 1990). Los cambios en los niveles sanguíneos de minerales ocurren e incluso pueden detectarse antes de que se presente alguna signología (Underwood, 1981; Hindson y Winter, 1990). Además, los resultados obtenidos son más objetivos si se toma la muestra a la misma hora del día durante el tiempo que dure el estudio (Georgievskii, 1982).

Los tejidos corporales reflejan en su composición química el status del mineral, que varía dependiendo del tejido y del elemento (Underwood, 1981; Grace y Lee, 1992). La lana, a pesar de ser a simple vista una estructura muerta, es un producto de rápido crecimiento. Cualquier deficiencia nutricional, enfermedad sistémica u otra causa, que afecte la función del organismo, se reflejará en la lana (Hindson y Winter, 1990). Georgievskii (1982) considera que la lana es uno de los materiales menos apropiados para el estudio de los minerales, ya que el metabolismo en la fibra es muy lento. Sin embargo, el diagnóstico de deficiencia mineral puede basarse en la lana en crecimiento porque corresponderá al nivel de minerales en un tiempo determinado.

JUSTIFICACIÓN.

Indudablemente, los minerales se requieren para todos los procesos vitales del organismo, incluyendo el buen funcionamiento del sistema inmune. La información existente sobre las necesidades y factores que afectan la disponibilidad de los minerales para los rumiantes en pastoreo es muy escasa, por la dificultad de medir el consumo voluntario en estas condiciones.

Con la finalidad de llenar este vacío de información se llevó a cabo esta investigación. La realización del estudio en condiciones de pastoreo permitió obtener información acerca de las variaciones en la concentración mineral que presenta una pradera de clima templado y el impacto de dichas variaciones sobre el perfil mineral de los animales. Usar individuos de diferente edad y raza tuvo como objetivo afinar esa información para poder empezar a establecer recomendaciones prácticas de suplementación, de acuerdo con la raza, edad y estado fisiológico del animal.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar si en ovinos no gestantes en pastoreo la raza (Suffolk y Rambouillet) o la edad (adultas y corderas) influyen sobre el perfil mineral (Ca, P, Mg, S, Se, Cu, Fe, Zn).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1.- Estimar mediante el uso de sesquióxido de cromo como marcador, el consumo voluntario de forraje en ovejas no gestantes mantenidas en pastoreo.

2.- Determinar las fluctuaciones de macrominerales (Ca, P y Mg) en la sangre completa y plasma en ovejas no gestantes mantenidas en pastoreo

3.- Determinar las fluctuaciones de microminerales (Fe, Cu, Zn y Se) en la sangre completa y plasma en ovejas no gestantes mantenidas en pastoreo

4.- Determinar las fluctuaciones del macromineral S y de los microminerales Cu y Zn en la lana de ovejas no gestantes mantenidas en pastoreo.

5.- Comparar la concentración de minerales en los componentes sanguíneos y en la lana entre dos razas ovinas (Suffolk y Rambouillet).

6.- Comparar la concentración de minerales en los componentes sanguíneos y en la lana entre ovejas adultas y corderas.

7.- Relacionar las fluctuaciones en la concentración de los diferentes minerales en el forraje con las fluctuaciones en la sangre completa, plasma y lana de ovejas no gestantes mantenidas en pastoreo.

HIPÓTESIS

1.- Existen diferencias en la concentración de algunos elementos minerales (Ca, P, Mg, S, Se, Cu, Fe, Zn) en sangre, plasma y lana de ovejas Suffolk (productoras de carne) y Rambouillet (productoras de lana), así como en ovejas adultas y corderas de la misma raza.

2.- Los mecanismos homeostáticos serán capaces de mantener las concentraciones de los minerales sin fluctuaciones significativas dentro de los rangos fisiológicos normales.

3.- La cantidad de forraje consumido voluntariamente por animal presentará diferencias de acuerdo con la raza y/o edad de los animales, siendo mayor para las ovejas Suffolk (productoras de carne) y/o para las adultas.

4.- La cantidad de forraje consumido voluntariamente por peso metabólico presentará diferencias de acuerdo con la raza y/o edad de los animales siendo mayor, para la raza Rambouillet (productora de lana) y/o para las corderas.

II. MATERIAL Y MÉTODOS.

FASE DE CAMPO.

LUGAR: El presente estudio se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina, el cual pertenece a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (F.M.V.Z.) de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.). Está ubicado en el kilómetro 53.1 de la carretera federal México-Cuernavaca, poblado de Tres Marias, Municipio de Huizilac, Estado de Morelos, a 10°03' latitud norte, 99°14' longitud oeste, a 2180 m de altitud. Presenta clima tipo Cb(m)(w), una temperatura promedio de 18°C y precipitación promedio anual de 1724 mm (García, 1988). El periodo de la fase de campo (65 días) inició el 3 de julio y terminó el 6 de septiembre de 1996.

ANIMALES: Se seleccionaron 24 ovejas no gestantes, 12 de la raza Suffolk y 12 Rambouillet; 6 adultas y 6 corderas por cada raza. Las adultas tuvieron 6 años de edad en promedio y las corderas 16 meses, todas identificadas con aretes. De esta manera se trabajó con 4 grupos con 6 animales cada uno: Suffolk-adultas (SA), Suffolk-corderas (SC), Rambouillet-adultas (RA) y Rambouillet-corderas (RC).

ALIMENTACIÓN Y MANEJO: Antes de iniciar la investigación, los animales eran alimentados en pastoreo rotacional y al regreso a los corrales recibían suplementación en pesebre con heno de avena y concentrado. Los ingredientes del concentrado eran los mismos para todo el hato, variando los porcentajes de inclusión para las diferentes etapas de producción. El periodo de pastoreo se iniciaba a las 07:00 y terminaba a las 16:30 h. Para la realización de este trabajo se realizó el cambio de alimentación de pastoreo con suplementación a únicamente pastoreo y para no interferir con el manejo reproductivo del rancho, el cambio se hizo en 7 días. Durante este tiempo se observaron varios casos de urolitiasis entre los corderos machos, al parecer ocasionados por un desbalance mineral en el concentrado.

El pastoreo de los animales se efectuó en dos praderas contiguas: A y B, de 1:14:70 y 1:11:10 ha respectivamente. La superficie pastoreada estaba implantada con trébol

blanco (*Trifolium repens latum*), ryegrass (*Lolium perenne*) y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en proporciones variables. El tiempo de pastoreo no se modificó, así que fue de 9 horas y media diarias en promedio, iniciándose a las 07:00 y terminando a las 16:30 h. Los días de muestreo (1, 7, 21, 35, 49 y 63) las ovejas salieron a pastorear un poco más tarde (08:00 h). Al finalizar el pastoreo los animales eran encerrados en corrales contiguos pavimentados, donde se separaban por raza. La limpieza de los alojamientos se efectuaba diariamente mientras los animales se encontraban pastoreando. Durante toda la fase de campo las borregas tuvieron siempre disponible agua limpia, sin embargo, acudían al bebedero con poca frecuencia. En cuanto al manejo de praderas, los periodos de ocupación fueron los siguientes: Pradera A: del día 1 al 17 y del 32 al 55; pradera B: del 18 al 31 y del 56 al 65 del periodo experimental.

Para medir el consumo voluntario de los animales se llenaron cápsulas de gelatina (No. 0) con 0.5000 g de Cr_2O_3 . Estas cápsulas se almacenaron en frascos de vidrio lavados perfectamente hasta ser administradas, para lo cual se utilizó una jeringa de 20 ml a la que se le cortó la punta. La dosificación se inició 7 días antes del comienzo del pastoreo, dos cápsulas por día, una por la mañana antes de salir a pastorear (06:30 h) y otra al regresar (17:00 h) asegurándose visualmente que los animales deglutieran la cápsula. Durante este tiempo se llevó a cabo el cambio de alimentación descrito anteriormente. La administración del marcador se mantuvo durante todo el periodo de estudio (65 días).

MUESTREOS Y PESAJE: El pesaje de los animales y la recolección de muestras se inició el primer día de la administración del marcador (muestreo cero, M0). Los siguientes pesajes y muestreos se hicieron los días 7, 21, 35, 49 y 63 del periodo de estudio (muestreos = 6).

Peso: Los animales fueron pesados por la mañana en una báscula de plataforma con capacidad de 200 kg.

De los animales se obtuvieron muestras sanguíneas (sangre total y plasma), lana y excretas.

Muestras sanguíneas: Para realizar el análisis de plasma y sangre completa se tomaron por venopunción en la yugular dos muestras, en tubos vacutainer nuevos preparados comercialmente con heparina, aproximadamente 10 ml en cada tubo. La toma de muestras fue a las 07:00 h. La sangre para la obtención de plasma fue centrifugada casi de inmediato a 2500 rpm durante 10 minutos y al detectarse muestras con cierto grado de hemólisis, se identificó a los animales de los cuales procedían dichas muestras y el sangrado se repitió al regreso del pastoreo (17:00 h). El plasma se recolectó con pipetas Pasteur (una por muestra) y fue almacenado en recipientes de plástico identificados y congelado posteriormente. Las muestras para analizar la sangre total se mantuvieron en el tubo en refrigeración.

Lana: Ambos costados del animal fueron trasquilados ampliamente con trasquiladora eléctrica; los peines usados fueron de acero inoxidable. Las muestras se almacenaron en bolsas nuevas de polietileno con cierre hermético, previamente identificadas. Debido a que entre el M0 y M1 (7 días) no hubo suficiente crecimiento de lana, fue omitido este muestreo, hasta el tiempo de tomar la muestra 2 (21 días).

Heces: Previo a la dosificación del Cr_2O_3 , se recolectaron vía rectal excretas de cada animal, las cuales fueron tomadas como muestra blanco (M0). Esta recolección se realizó aproximadamente a las 08:00 h. Los días 7-9, 21-23, 35-37, 49-51 y 63-65 del estudio se tomó de cada animal una muestra antes (06:00 h) y una después (17:00 h) del tiempo de pastoreo. Las muestras por día/animal/muestreo se depositaron en bolsas nuevas de polietileno con cierre hermético, previamente identificadas para su posterior congelación.

Suelo: Al inicio de la investigación se obtuvieron muestras del suelo donde estaban implantadas las praderas. De cada pradera se tomaron, con un muestrador para suelos hecho de acero inoxidable y limpio, 8 muestras, las cuales se colocaron en bolsas de plástico nuevas e identificadas, una por pradera. Las muestras se homogeneizaron para obtener la muestra bruta, una por pradera.

Forraje: Las praderas fueron muestreadas para obtener cantidad y calidad del forraje. **Cantidad:** se realizó los días de muestreo para los animales y al inicio y término del periodo de ocupación. En estos últimos muestreos se clasificó la pradera en

leguminosas:gramíneas:malezas. El método utilizado fue de tipo destructivo (cuadrante). De la superficie correspondiente se marcaron 50 sitios de 0.1 m²; el forraje se cortó con tijeras y se guardó en bolsas de papel estraza para lograr su desecación, la cual en un inicio fue deshidratada al sol y posteriormente, en la estufa hasta peso constante.

Forraje: Calidad: se tomaron muestras manuales de la pradera de los sitios donde se observaba a los animales consumir el forraje (Pond et al., 1987), tres veces durante el horario de pastoreo, aproximadamente a las 08:00, 12:00 y 16:00 h. Estas muestras se colocaron en bolsas de polietileno, se congelaron de inmediato en N líquido y posteriormente se mantuvieron en congelación.

Después de la recolección de heces (06:00 h), el manejo durante la toma de muestras aproximadamente a la 07:00 h, fue el siguiente: primero se pesó a los animales, posteriormente se colectaron las muestras sanguíneas y finalmente se realizó la trasquila.

ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Con la finalidad de minimizar el efecto de muestreo en los análisis, las muestras de sangre, plasma, lana y excretas fueron sorteadas al azar y numeradas progresivamente en orden ascendente, orden en el cual fueron procesadas.

Sangre: fue sometida a un proceso de digestión húmeda con ácido nítrico (HNO₃) (ver apéndice). La solución madre se conservó en envases plásticos nuevos y lavados con HNO₃, 1:10. En la solución madre se determinaron los macrominerales Ca, P y Mg y los microminerales Se, Cu, Fe y Zn.

Plasma: previa descongelación del material original, se prepararon diluciones 1:50 con agua desionizada (0.1 ml de plasma, 4.9 ml de agua) para determinar las concentraciones de Ca, P y Mg. Las diluciones se conservaron en envases plásticos, lavados previamente con HNO₃ 1:10, en refrigeración. Para determinar Cu, Fe y Zn se prepararon diluciones 1:2 (1 ml de plasma, 1 ml de agua) y se conservaron de igual manera. En el caso de las diluciones 1:50, se utilizaron pipetas volumétricas 1/10, las cuales se lavaron con mezcla crómica (24 h), se enjuagaron al chorro de agua corriente y se pusieron en baño con HNO₃ 1:10 (24 h) y se enjuagaron con agua desionizada. Posteriormente se secaron en

horno de convección a 50°C. Las diluciones 1:1 se prepararon con pipeta automática (P1000), utilizándose puntas nuevas (una por muestra), previamente lavadas con HNO₃ 1:10, enjuagadas con agua desionizada y secadas en horno de convección a 50°C. Las puntas fueron guardadas en un recipiente de plástico (limpio y lavado con HNO₃ 1:10) con tapa hasta el momento de ser utilizadas.

Lana: de la lana recolectada se tomó una muestra representativa (aproximadamente 10 g) y para eliminar tierra y grasa de la muestra, ésta fue lavada en cápsulas de porcelana limpias y enjuagadas con HNO₃ 1:10 y agua bidestilada antes de usarse. Durante el lavado se utilizaron guantes de látex. El primer paso fue remojar la lana en hexano, con lo que se logró eliminar casi la totalidad de la tierra y gran cantidad de grasa. A continuación, una vez escurrido el exceso de hexano se le remojó en alcohol 96°; en este segundo paso se eliminó algo de la grasa restante. Finalmente fue enjuagada varias veces con agua bidestilada. Se colocó en cajitas hechas con papel de laboratorio y se secó por 24 h a 50°C. Una vez seca se conservó en bolsas de polietileno nuevas con cierre hermético, previamente identificadas.

Para obtener la solución madre, se pesaron 0.5 g de lana limpia y se sometió también a una digestión húmeda con HNO₃. En la lana se determinó el macromineral S y los microminerales Cu y Zn.

La digestión ácida de sangre y lana se realizó en horno de microondas en el laboratorio de fisicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la U.N.A.M., con los programas utilizados por Aceves (1997) (ver apéndice).

Suelo: con un potenciómetro se determinó el pH. Para la obtención de la cantidad de materia inorgánica, se colocó en recipientes limpios hechos de acero inoxidable 10 g de suelo por cada pradera durante 24 h a 100°C y, posteriormente fue incinerado de esta muestra seca, 1 g por 24 h a 500°C. A partir de la muestra incinerada se obtuvo la solución madre. Esto se hizo de acuerdo con la técnica empleada en el laboratorio de Análisis de Alimentos del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la F.M.V.Z. de la U.N.A.M. Al suelo se le determinó Ca, P, Mg, S, Se, Cu, Fe y Zn.

Forraje: Cantidad: las muestras conservadas en papel estraza fueron secadas hasta peso constante a 50°C y, posteriormente, pesadas para finalmente calcular la producción de M.S./ha.

Forraje: Calidad: las muestras congeladas de forraje fueron liofilizadas hasta obtener peso constante. Se realizó la prueba de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) por el método de Tilley & Terry (Tejada, 1992). Para determinar la concentración de los minerales en el forraje, éste se molió en una licuadora nueva con vaso de plástico y cuchillas de acero inoxidable. La digestión húmeda en placa se realizó con 1 g de muestra conforme al laboratorio de Análisis de Alimentos del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la F.M.V.Z. de la U.N.A.M. Se determinó en el forraje Ca, P, Mg, S, Se, Cu, Fe y Zn.

Heces: las muestras por día/animal/muestreo fueron descongeladas y desecadas en horno de convección a 50°C hasta peso constante. Posteriormente se molieron en un molino nuevo para café con cuchillas hechas de acero inoxidable y se guardaron en bolsas de plástico nuevas con cierre hermético. Las heces día/animal/muestreo se pesaron y de cada una se obtuvo una tercera parte para la obtención de la muestra animal/muestreo, la cual se conservó igual que la anterior. Para la cuantificación del Cr₂O₃, se siguió la metodología de Fenton y Fenton (1979), utilizándose 0.3 g de excretas y cuantificándose por espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Una vez obtenida la concentración de Cr₂O₃ en las heces se calculó el consumo voluntario mediante las ecuaciones 1 y 2 señaladas en el texto.

Determinación de los minerales: Ca, Mg, Cu, Fe y Zn fueron determinados en las soluciones madre mediante EAA; Se, por generador de hidruros acoplado a EAA. El P de las muestras de los animales se determinó por el método colorimétrico de Fiskie & Subarrow (1925) y el de las muestras de forraje y suelo de acuerdo con Tejada (1992); el S en lana, suelo y forraje se determinó por el método gravimétrico (Stahr, 1965).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Este estudio tuvo un diseño completamente aleatorizado en arreglo factorial 2 X 2 (2 razas X 2 edades). La unidad experimental fue el animal (n=24) y el modelo estadístico, el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + A_j + RA_{ij} + P_k + RP_{ik} + AP_{jk} + RAP_{ijk} + E_{(ijkl)},$$

donde:

- Y_{ijkl} = l-ésima concentración mineral en sangre, plasma y lana en el k-ésimo período, para la j-ésima edad de la i-ésima raza.
- μ = media de la población.
- R_i = efecto de la i-ésima raza $i=1,2$.
- A_j = efecto de la j-ésima edad $j=1,2$.
- RA_{ij} = interacción raza*edad.
- P_k = efecto del k-ésimo período de muestreo $K=0, \dots, 5$.
- RP_{ik} = efecto de la interacción raza*período
- AP_{jk} = efecto de la interacción edad*período
- RAP_{ijk} = efecto de la triple interacción raza*edad*período
- $E_{(ijkl)}$ = error experimental

Los datos del peso de los animales, consumo voluntario y de las concentraciones minerales se sometieron a un análisis de varianza de mediciones repetidas, utilizando el procedimiento de modelos generales lineales del paquete estadístico SAS (1985) y la instrucción REPEATED. Si el efecto de muestreo fue significativo ($P < 0.05$), se realizó una transformación polinomial para descomponerlo en efecto lineal, cuadrático, etc. También, se comparó entre muestreos de la siguiente manera: la media de M0 contra la media de M1 a M5; la media de M1 contra la media de M2 a M5; la media de M2 contra la media de M3 a M5; así, hasta la media de M4 contra la de M5. Esto, dentro del análisis de mediciones repetidas se conoce como transformación HELMERT, se interpretó cuando existieron diferencias significativas ($P < 0.05$). En las interacciones raza*edad se hizo la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) para la diferencia entre medias. Se hizo también un análisis de correlaciones entre consumo voluntario, consumo mineral, pesos de los animales y concentraciones minerales obtenidas de sangre, plasma y lana (PROC CORR, SAS, 1985).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

COMPOSICIÓN MINERAL DEL SUELO: El Cuadro 1 presenta el contenido de materia inorgánica y de algunos minerales, así como el pH del suelo donde se encontraban las praderas utilizadas en la investigación.

Cuadro 1. Análisis de suelo de las praderas utilizadas en la investigación.

	A	B
Materia inorgánica (%)	78.540	77.300
pH	4.170	4.120
Ca (ppm)	8000.000	7000.000
P (ppm)	6215.000	6160.000
Mg (ppm)	2699.340	2998.970
Cu (ppm)	18.990	18.495
Zn (ppm)	72.480	70.980
Fe (ppm)	2395.190	2374.180
Se (ppb).	554.330	299.870
S	N.S.D. ¹	N.S.D.

¹N.S.D.= no se determinó

El National Plant Food Institute (1974) señala que el valor del pH en la mayoría de los suelos es de 4 a 8, pero la mayoría de los cultivos prosperan en valores entre 6 y 7. Ammerman et al. (1978) citan a Cox, quien afirma que la mayor parte de los suelos en Latinoamérica son ácidos. Las praderas A y B con pH de 4.1 pueden considerarse suelos fuertemente ácidos. El trébol blanco, ryegrass y pasto kikuyo crecen en suelos con pH entre 6 y 7 para el primero y entre 5.5 y 7.5 para los segundos. El pH fuertemente ácido hace difícil el aprovechamiento de ciertos minerales por parte de la planta, como P, S, Ca, Mg y en menor grado Mn, Cu, Zn, en tanto el Fe se hace altamente disponible (N.F.P.I. 1974; Ortiz y Ortiz, 1990).

El contenido de los minerales determinados en los suelos fue semejante para las dos praderas, excepto para Se, donde la pradera A presentó un contenido de 554.33 (0.55 ppm) contra 299.87 ppb (0.29 ppm) de la pradera B. Millar (1983) señala que los suelos con

menos de 0.5 ppm de Se son considerados deficientes; luego entonces, la pradera B fue deficiente en Se. Sarkar et al. (1992), haciendo referencia al N.R.C. de 1978, señala como contenidos críticos en el suelo 20 y 9 ppm de Fe y Cu, respectivamente. Los suelos estudiados tuvieron en promedio contenidos muy superiores en Fe (2384.68 ppm) y en Cu (18.74 ppm) respecto a los valores críticos.

DIGESTIBILIDAD Y CONTENIDO MINERAL DEL FORRAJE: La producción de M.S. antes y después de los periodos de pastoreo y la composición vegetal de las praderas (gramíneas:leguminosas:malezas) se presentan en el Cuadro 2. La pradera A tuvo mejor cobertura de las especies implantadas (trébol y ryegrass) pese a las similitudes de pH y minerales con la pradera B. La composición botánica presentó variación considerable, ya que en esta pradera el porcentaje inicial de gramíneas fue 60.0% y al finalizar el segundo periodo de ocupación el porcentaje se elevó a 82.89%; contrariamente, las leguminosas iniciaron con 40.0% y finalizaron con 17.11%. Por otra parte, en la pradera B la cobertura por parte de las especies implantadas era escasa, predominando el pasto kikuyo. Además, el porcentaje promedio de malezas durante el periodo experimental fue de 5.5%, lo que indica que no fueron consumidas por los animales y resistieron el pastoreo, ya que estuvieron presentes durante todo el periodo experimental; incluso su porcentaje llegó a elevarse a 6%. Asimismo, la proporción de gramíneas y leguminosas cambió, ya que sus porcentajes fueron de 72.63 y 22.74%, respectivamente, al inicio del primer periodo de ocupación, a 88.23 y 5.47%, respectivamente, al término del segundo periodo, lo que confirma una vez más que las gramíneas son más resistentes a condiciones de pastoreo (Flores, 1990).

Por otra parte, los periodos de ocupación y descanso (Cuadro 2) no fueron uniformes. Los animales fueron movilizadas de una pradera a otra cuando la disponibilidad de forraje para ellos era insuficiente (Cuadro 3), ya que los animales pasaban todo el tiempo de pastoreo (9 h y media) buscando alimento. A pesar de que la investigación se realizó en temporada de rápido crecimiento vegetal (lluvias) y de que las dos praderas tenían una

superficie semejante, la producción de M.S. fue muy diferente, la pradera A tuvo una producción promedio de 7.89 Ton al inicio de los períodos de ocupación, en tanto la pradera B produjo únicamente 3.3 Ton en promedio. Cabe señalar que al iniciar los períodos de pastoreo los animales pisotearon gran parte del forraje disponible en la pradera A, rechazándolo después.

Cuadro 2. Producción de materia seca, antes y después de los períodos de ocupación.

Pradera	Período de ocupación (días)	Antes del pastoreo		Residual	
		Ton M.S.	Relación G:L:M. ¹	Ton M.S.	Relación G:L:M.
A	1-17	7.72	60: 40: 0	7.08	70.39: 29.61: 0
B	18-31	2.67	72.63: 22.74: 4.63	2.07	85: 9.06: 5.04
A	32-55	8.06	70.37: 29.63: 0	7.18	82.89: 17.11: 0
B	56-65	3.39	82.08: 11.92: 6	3.02	88.23: 5.47: 6.3

¹G:L:M. = gramíneas: leguminosas: malezas

Cuadro 3. Cantidad de forraje por animal al finalizar los períodos de ocupación de las praderas.

Pradera	Fin del período de ocupación (día)	kg materia seca por animal
A	17	295.00
B	31	86.25
A	35	299.17
B	65	125.83

Sin embargo, la producción de M.S. pudo haberse subestimado por dos razones:

1) Van Houtert (1996) señala que la estimación de la producción de la M.S. basada en la cantidad de biomasa antes y después del pastoreo es particularmente adaptable a sistemas donde la carga animal es alta y los períodos de ocupación son cortos (menor a 2 días); de lo contrario, es necesario corregir los cálculos por el crecimiento diario de la

pradera. En este caso estas condiciones no fueron cumplidas. Además, hay otros factores que afectan la desaparición del forraje como el daño por el pisoteo y pérdidas por lixiviación, así como el consumo por insectos y roedores (Allison, 1985).

2) La manera en que se consiguió secar el forraje primero al sol y posteriormente en horno de convección, pudo haber afectado la estimación, ya que de acuerdo con Robertson (1983), después del corte del forraje, la respiración de la planta continúa hasta que los contenidos de humedad descienden a 38-40%, lo que resulta en pérdidas de M.S. (principalmente como carbohidratos no estructurales). Estas pérdidas alcanzan del 2 al 16%.

El Cuadro 4 muestra la DIVMS y el contenido mineral del forraje obtenido a partir de las tomas manuales de muestras. Van Houtert (1996) recomienda el uso de animales fistulados en esófago para obtener muestras representativas de pasturas asociadas y las tomas manuales de muestras simulando el pastoreo para pasturas monófitas. Los valores de digestibilidad *in vitro* se consideran bajos, aun cuando se trabajó en época de rápido crecimiento vegetal, debido a la abundancia de lluvias. Sin embargo, van Soest (1987) menciona al agua como uno de los factores que al acelerar el crecimiento vegetal también promueve su rápida maduración.

Cuadro 4. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca y contenido mineral de las praderas.

	Muestreo				
	1	2	3	4	5
	Pradera				
	A	B	A	A	B
Digestibilidad (%)	54.80	66.55	64.84	55.70	51.88
Ca (%)	0.35	0.64	0.44	0.31	0.42
P (%)	0.61	0.37	0.52	0.46	0.56
Mg (%)	0.19	0.20	0.30	0.16	0.19
Cu (ppm)	14.27	15.34	13.09	7.96	7.97
Zn (ppm)	36.16	44.72	30.54	38.30	32.86
Fe (ppm)	148.60	144.09	126.04	189.00	159.33
Se (ppb)	NSD ¹	NSD	NSD	NSD	NSD
S	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD

¹NSD = No se determinó

El Cuadro 5 presenta las necesidades tanto de M.S. como de minerales de los ovinos, en mantenimiento. Comparando los requerimientos de los minerales contra lo encontrado en el forraje (Cuadro 4), se puede considerar que el alimento contó con las cantidades adecuadas excepto para S y Se, los cuales no fueron detectables. McDowell et al. (1978) afirman que los suelos ácidos favorecen la disponibilidad y absorción de Fe por los vegetales. Sarkar (1992) señala, de acuerdo con otros autores, 50 ppm como valor crítico en los forrajes para Fe. El contenido de Fe en el forraje de ambas praderas supera por mucho el valor crítico. En cuanto al Zn, Cox, mencionado por McDowell et al. (1978), reporta que en América Latina, los suelos y las plantas son deficientes en Zn y factores como son suelo, plantas, estado de maduración, rendimiento, manejo de los pastos y el clima pueden contribuir a la deficiencia de Zn en rumiantes en pastoreo.

El NRC (1985) señala necesidades (Cuadro 5) de 20-33 ppm, en tanto Georgievskii (1982) incrementa estas necesidades hasta 50 ppm. En este último caso el forraje estudiado no cubrió los requerimientos, ya que el contenido promedio del metal durante los 5 muestreos fue de 36.52 ppm. En cuanto al Se, aun cuando fue encontrado en el suelo (Cuadro 1), esto no se reflejó en el forraje. Millar (1983) menciona que la relación suelo-planta-animal es buena para Se; sin embargo, Ammerman et al. (1978) señalan que el contenido total de Se en el suelo tiene escasa relación con las plantas que crecen en él, probablemente porque se encuentra en formas que varían en disponibilidad para las mismas. Además, el elemento es pobremente absorbido por las plantas en suelos ácidos y los vegetales estudiados no son acumuladores del mineral (Underwood, 1981; Scott, 1991). Ammerman et al., (1978) y Langlands et al. (1981) señalan la pérdida de Se por acción de la precipitación pluvial. Otra razón pudo haber sido su posible pérdida durante la digestión húmeda, por elevaciones de la temperatura (Silva y Fick, 1978). García-Bojalil (1990) menciona una relación inversa entre la edad de los forrajes y las concentraciones de N, P, Ca, Mg, Zn, Mn y una relación directa con el K.

Cuadro 5. Requerimientos de materia seca, macrominerales y microminerales para el ovino en mantenimiento.

	M.S. (kg)
Adultas (72.4Kg)	1.2 ⁽²⁷⁾
	1.59 ⁽⁶⁾
Corderas (61.35kg)	1.5 ⁽²⁷⁾
	1.57 ⁽⁶⁾

Elemento	% M.S.
Ca	0.20-0.82 ⁽²⁷⁾
P	0.16-0.38 ⁽²⁷⁾
Mg	0.12-0.18 ⁽²⁷⁾
S	0.14-0.26 ⁽²⁷⁾ 0.3-0.5 ⁽³³⁾

Elemento	Requerimiento ppm	Máximos tolerables ppm
Se	0.1-0.2 ⁽²⁷⁾	2 ⁽²⁷⁾ 5-20 ⁽¹⁸⁾
Fe	30-50 ⁽²⁷⁾	500 ⁽²⁷⁾
Cu	7-11 ⁽²⁷⁾	25 ⁽²⁷⁾
Zn	20-33 ⁽²⁷⁾ 50 ⁽¹⁸⁾	750 ⁽²⁷⁾ 1000 ⁽¹⁸⁾

6 Scott (1991)

18 Georgievskii (1982)

27 N.R.C. (1985)

33 Larvor (1983)

PESO DE LOS ANIMALES: El análisis de varianza (Cuadro 6) para el cambio de peso de las ovejas reveló un efecto de raza ($P=0.0001$). La raza Suffolk, siendo una raza productora de carne, está considerada como una raza paterna (Scott, 1991) y fue más pesada (73.2 kg) que la Rambouillet (60.6 kg), que es productora de lana fina, considerada comercialmente como raza materna. Iason et al. (1994) señalan que el efecto de la raza explica el 84.3% de la variación total en el peso vivo. De tal modo que se esperan diferencias entre razas debido a su diferente morfología y cantidad de grasa. Las ovejas adultas, que han alcanzado su total desarrollo (72.4 kg) pesaron más ($P=0.0001$) que las corderas (61.3 kg), las cuales aún se encontraban en crecimiento. Sin embargo, cabe señalar que el crecimiento de los ovinos puede graficarse mediante una curva de tipo sigmoide. Bajo condiciones ideales, la tasa de crecimiento tiende a permanecer relativamente constante desde poco después del nacimiento hasta que el animal alcanza aproximadamente la mitad de su peso adulto; posteriormente declina en forma progresiva hasta cero cuando llega a la madurez (Haresing, 1989).

Cuadro 6. Análisis de varianza de mediciones repetidas para el cambio de peso de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
<i>Entre animales</i>				
Raza (R)	1	5693.96	62.96	0.0001
Edad (E)	1	4394.58	48.60	0.0001
R*E	1	1.89	0.02	N.S. ¹
Error	20	90.43		
<i>Dentro de animales</i>				
Muestreo (M)	5	46.86	11.19	0.0001
M*R	5	59.36	14.18	0.0001
M*E	5	76.71	18.32	0.0001
M*R*E	5	27.22	6.50	0.0004
Error	100	4.19		
TOTAL	143			

¹N.S. = No significativo ($P>0.05$)

El efecto de muestreo resultó significativo, pero fue dependiente de la triple interacción, muestreo*raza*edad ($P=0.0004$), cuyas medias aparecen en el Cuadro 7. El Cuadro 8 muestra la transformación polinomial para definir el comportamiento del efecto de muestreo, el cual fue cúbico ($P=0.0001$) y se puede apreciar en la figura 1.

Cuadro 7. Pesos promedio de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n =24).

RAZA	EDAD	MUESTREO	Media (kg)	EEM ¹
Rambouillet	adultas	0	67.33	2.67
		1	63.75	2.49
		2	64.91	2.66
		3	67.25	2.61
		4	67.25	2.49
	corderas	0	56.17	1.46
		1	52.50	1.42
		2	52.83	1.55
		3	55.08	1.34
		4	56.42	1.67
Suffolk	adultas	0	85.33	1.57
		1	81.75	2.05
		2	80.50	1.06
		3	78.08	1.02
		4	76.50	0.86
	corderas	0	68.83	1.68
		1	66.00	1.41
		2	65.50	1.99
		3	67.50	1.73
		4	69.00	1.98
		5	68.33	0.74

¹EPM= Error estándar de la media

Cuadro 8. Transformación polinomial del efecto de muestreo en el cambio de peso de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	61.9085	11.93	0.0025
Raza	1	270.0013	52.03	0.0001
Edad	1	318.5073	61.37	0.0001
Raza * Edad	1	130.6501	25.18	0.0001
Error	20	5.1897		
Efecto cuadrático				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	32.8900	6.82	0.0167
Raza	1	16.5209	3.73	N.S. ¹
Edad	1	62.3364	12.92	0.0018
Raza * Edad	1	0.2511	0.05	N.S.
Error	20	4.8231		
Efecto cúbico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	138.1380	113.52	0.0001
Raza	1	1.1834	0.97	N.S.
Edad	1	1.0237	0.84	N.S.
Raza * Edad	1	3.4172	2.81	N.S.
Error	20	1.2168		
Efecto cuártico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	1.3843	0.39	N.S.
Raza	1	7.6075	2.14	N.S.
Edad	1	0.0093	0.00	N.S.
Raza * Edad	1	0.0093	0.00	N.S.
Error	20	3.5602		

¹N.S. = No significativo (P > 0.05)

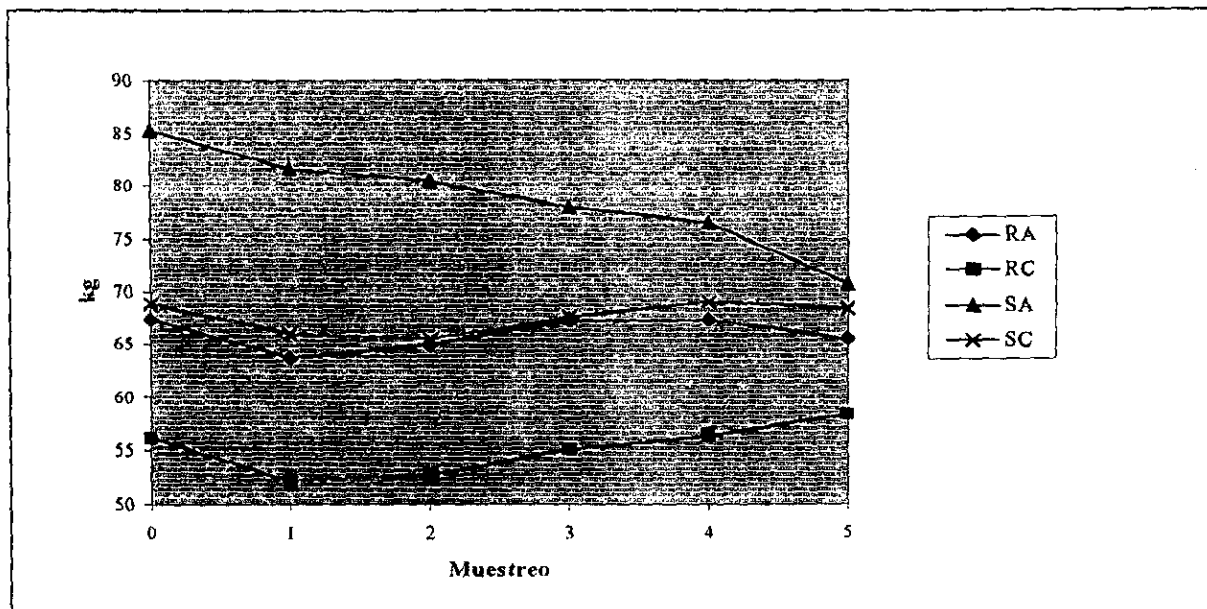


Figura 1. Cambio de peso de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.

Los cuatro grupos presentaron una pérdida de peso acelerada de M0 a M1, debida al cambio brusco de alimentación, que fue de pastoreo rotacional con concentrado y heno de avena como complementación en pesebre a únicamente pastoreo en sólo 7 días, cuando se recomiendan períodos mayores de adaptación a una nueva dieta (Betteridge, 1986). Fue necesario hacerlo así para no alargar la fase de campo de la investigación, de tal manera que no interfiriera con el manejo reproductivo de los animales. El grupo RA mostró ganancias de peso positivas de M1 a M4, recuperando su peso inicial en M3. Esto se debió a que, siendo una raza rústica, es capaz de adaptarse rápidamente a condiciones adversas, incluyendo dietas pobres (Botkin et al., 1988; Scott, 1991), aunado esto a que las digestibilidades del forraje fueron las mejores durante estos muestreos. De nuevo se presenta pérdida de peso de M4 a M5, momento en el que se llevó el cambio a la pradera B, que presentó una digestibilidad de 51.88%. El grupo RC presentó ganancias de peso positivas a partir de M1, lo cual se explica en parte por la rusticidad de la raza y también porque los animales jóvenes continúan su crecimiento pese a la mala calidad del alimento. El grupo SA mostró una pérdida constante de peso durante todo el desarrollo de la investigación. La raza Suffolk no

es rústica; por el contrario, son animales que tienen necesidad de consumir buenos alimentos para poder mantener su peso. La pérdida de peso se acentuó entre M4 y M5, período que coincide con la peor calidad del forraje. El grupo SC presentó un comportamiento muy similar al del grupo RA: de M0 a M2 mostró pérdida de peso por el cambio de dieta y por la no rusticidad de la raza, ya que le es más difícil adaptarse. De M2 a M4 presentó ganancias de peso; por ser animales jóvenes continúan su crecimiento y por ende, ganando peso. Sin embargo, no fueron capaces de mantener este crecimiento al darse un cambio en la digestibilidad del alimento y de M4 a M5 presentaron de nuevo pérdida de peso, aunque no tan acentuada como la de los animales adultos de ambas razas.

Estas diferencias en las curvas de peso entre los cuatro grupos explican la triple interacción encontrada (muestreo*raza*edad). El comportamiento fue similar entre los grupos RA, RC y SC, mientras que el grupo SA presentó un comportamiento diferente.

Este comportamiento coincide con lo señalado por González (1992) sobre diferencias en peso entre animales de la misma especie, raza y sexo. Este investigador indica que las variaciones en el número y diámetro de fibras musculares encontradas entre animales de diferente raza determinan las diferencias en el peso maduro y desarrollo final.

CONSUMO VOLUNTARIO: El Cuadro 9 muestra el análisis de varianza para el consumo voluntario total de las ovejas. Se encontró un efecto de raza ($P=0.0001$), con un consumo promedio para las ovejas Suffolk de $1.61 \text{ kg} \pm 0.05 \text{ EEM}$ y de las ovejas Rambouillet de $1.22 \text{ kg} \pm 0.03 \text{ EEM}$. El efecto de edad también fue significativo ($P=0.0026$), consumiendo los animales adultos $1.52 \text{ kg} \pm 0.06 \text{ EEM}$ vs $1.30 \text{ kg} \pm 0.03 \text{ EEM}$ de las corderas. Sin embargo, la interacción raza*edad fue significativa ($P= 0.0001$) y las medias se presentan en el Cuadro 10. Puede apreciarse que de acuerdo a la prueba de DMS (Cuadro 10), las ovejas SA tuvieron el mayor consumo durante la investigación con $1.88 \text{ kg M.S./animal/día}$. Los otros tres grupos tuvieron consumos similares. Los consumos de M.S. de las ovejas Rambouillet adultas y de las corderas de ambas razas fueron inferiores a los

recomendados por la literatura (Cuadro 5), en tanto que el consumo de las adultas Suffolk al parecer fue superior a lo señalado. Se considera que la raza Suffolk por ser productora de carne tiene altos consumos. En este caso sus requerimientos de M.S. al parecer fueron satisfechos, pero con un forraje pobre, por lo que es poco probable que el resto de sus necesidades hayan sido cubiertas. De Waal y Biel (1989) señalan entre otros factores que influyen sobre el consumo voluntario de ovejas en pastoreo a la capacidad del animal para ingerir forraje. De los grupos que se trabajaron es precisamente la raza Suffolk adulta la que posee la mayor capacidad ruminal debido al tamaño de la raza y a que ha alcanzado su desarrollo total. Langlands, citado por Allison (1985), indicó que dentro de una raza, el consumo está más relacionado con la edad que con el peso.

Cuadro 9. Análisis de varianza de mediciones repetidas para el consumo voluntario de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
<i>Entre animales</i>				
Raza (R)	1	4.4689	35.41	0.0001
Edad (E)	1	1.4888	11.80	0.0026
R*E	1	3.1402	24.88	0.0001
Error	20	0.1262		
<i>Dentro de animales</i>				
Muestreo (M)	4	0.8309	19.36	0.0001
M*R	4	0.0260	0.61	N.S. ¹
M*E	4	0.0492	1.15	N.S.
M*R*E	4	0.0655	1.53	N.S.
Error	80	0.0430		
TOTAL	119			

¹N.S. = No significativo (P>0.05)

El consumo voluntario también se vio afectado por el efecto de muestreo (P = 0.0001, Cuadro 9). En el Cuadro 10 se muestran las medias de consumo voluntario por

muestreo y en el Cuadro 11 aparece la transformación polinomial, a la cual se sometió el efecto de muestreo y que resultó ser de tipo cúbico como se aprecia en la figura 2. De M1 a M2 el consumo voluntario aumentó. Hay que recordar que en M1 el consumo fue bajo debido al cambio de alimentación que se mencionó y en M2 el forraje tuvo la mayor digestibilidad. En M2 los animales ya se habían adaptado a la alimentación y esto, aunado a la mayor digestibilidad del forraje, contribuyó a que se alcanzaran los mejores consumos voluntarios de toda la investigación. De M2 a M4, el consumo disminuyó hasta alcanzar los valores de M1 y estas variaciones coinciden con los cambios de digestibilidad observados en el forraje (Cuadro 4). De M4 a M5, aun cuando la digestibilidad del forraje disminuyó (Cuadro 4), hubo un ligero aumento en el consumo, el cual se atribuyó a que durante M4 las condiciones del tiempo fueron adversas (fuertes lluvias con vientos). Cheeke (1991) señala que incrementos en la digestibilidad del forraje pueden aumentar el consumo voluntario de los animales en pastoreo debido a que la tasa de paso en el rumen incrementa. Si el forraje es poco digestible tarda más tiempo en ser reducido a partículas pequeñas para que salga del rumen.

Cuadro 10. Consumo voluntario promedio de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 24).

Efecto		Consumo (kg de materia seca)	EEM ³
RAZA	EDAD¹		
Rambouillet	adultas	1.17 ^a	0.04
	corderas	1.27 ^a	0.05
Suffolk	adultas	1.88 ^b	0.08
	corderas	1.33 ^a	0.04
MUESTREO²			
	1	1.29	0.03
	2	1.64	0.04
	3	1.59	0.03
	4	1.24	0.03
	5	1.30	0.03

¹Raza * Edad P = 0.0001 ^{a,b} literal diferente indica diferencia estadística (P < 0.05)

²Muestreo P = 0.0001

³EEM= Error estándar de la media

Cuadro 11. Transformación polinomial del efecto de muestreo en el consumo voluntario de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.3154	10.41	0.0042
Raza	1	0.0167	0.55	N.S. ¹
Edad	1	0.0823	2.71	N.S.
Raza * Edad	1	0.0439	1.45	N.S.
Error	20	0.0303		
Efecto cuadrático				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	1.3411	45.33	0.0001
Raza	1	0.0074	0.25	N.S.
Edad	1	0.0594	2.01	N.S.
Raza * Edad	1	0.1147	3.88	N.S.
Error	20	0.0296		
Efecto cúbico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	1.5465	21.87	0.0001
Raza	1	0.0572	0.81	N.S.
Edad	1	0.0435	0.62	N.S.
Raza * Edad	1	0.0057	0.08	N.S.
Error	20	0.0707		
Efecto cuártico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.1204	2.93	N.S.
Raza	1	0.0226	0.55	N.S.
Edad	1	0.0118	0.29	N.S.
Raza * Edad	1	0.0975	2.37	N.S.
Error	20	0.0411		

¹N.S. = No significativo (P > 0.05)

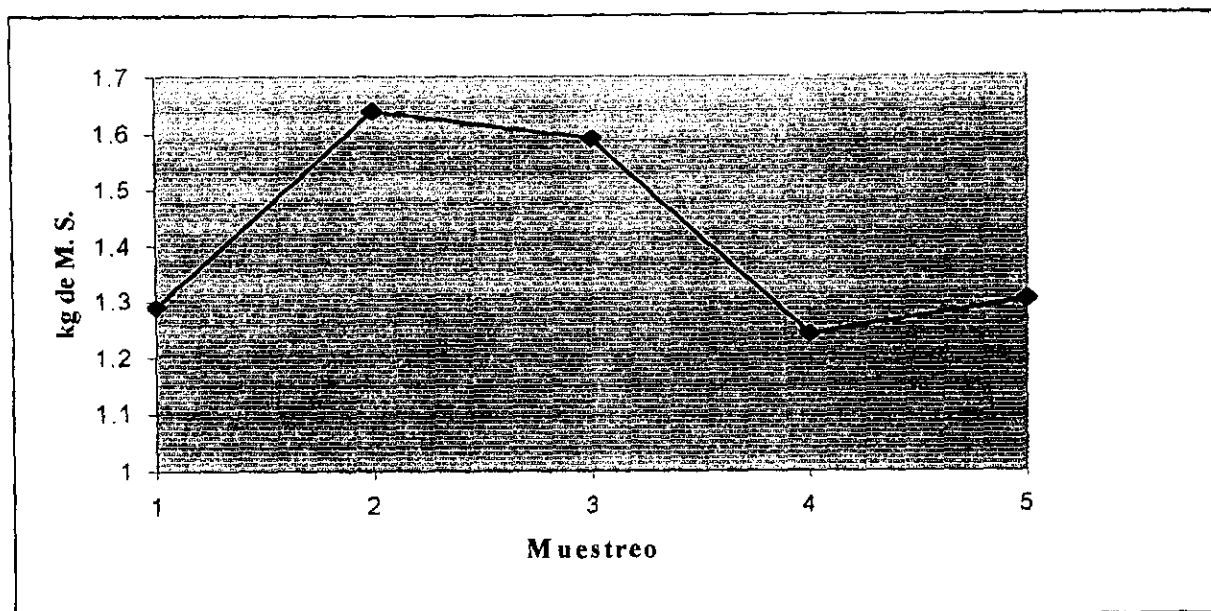


Figura 2. Consumo voluntario promedio (kg de materia seca) de ovejas, no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

CONSUMO VOLUNTARIO POR PESO METABÓLICO (kg P.V.^{0.75}): El Cuadro 12 presenta el análisis de varianza de mediciones repetidas para el consumo voluntario por kg de peso metabólico. Este análisis resultó en un efecto de raza ($P=0.0079$), en las ovejas Rambouillet consumiendo menos forraje ($0.057 \text{ kg} \pm 0.0017 \text{ EEM}$) que las Suffolk ($0.064 \text{ kg} \pm 0.0018 \text{ EEM}$), pero la interacción raza*edad también fue significativa ($P=0.0001$). El Cuadro 13 presenta las medias para la interacción. La prueba de DMS encontró que el grupo SA fue diferente de los grupos RA y SC pero no del grupo RC, a diferencia de lo ocurrido en el análisis de consumo voluntario por animal.

Esto significa que las corderas de la raza Rambouillet tuvieron un consumo igual al de las ovejas Suffolk adultas. De Waal y Biel (1989), y otros autores citados por ellos, encontraron diferencias entre razas ovinas en el consumo de alimento por peso metabólico. Estos investigadores trabajaron con ovejas lactantes de las razas Dorper y Merino y encontraron que esta última tuvo mayor consumo por peso metabólico. Es necesario recordar que la raza Merino dio origen a la Rambouillet. Por otra parte, Dulphy y

Demarquilly (1994) señalan que la edad es uno de los factores que afectan el apetito y por ende, el consumo. Allison (1985) cita a Johnson et al., quien relaciona el consumo voluntario con el tamaño metabólico. Afirma que las necesidades de energía son proporcionales al peso corporal elevado a 0.75. De tal modo, los requerimientos de energía por peso metabólico de los animales jóvenes son mayores que los de animales adultos y como su rumen es más pequeño, cubren sus necesidades aumentando el apetito y su tasa de paso de la ingesta. En esta investigación se encontró que los consumos de forraje del grupo RC, que es una raza pequeña con mayor consumo por peso metabólico (De Waal y Biel, 1989) y con mayores necesidades debido a su edad (Allison, 1985), fueron iguales a los del grupo SA, cuya capacidad ruminal es mayor.

Cuadro 12. Análisis de varianza de mediciones repetidas para el consumo voluntario por peso metabólico de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
<i>Entre animales</i>				
Raza (R)	1	0.0016	8.70	0.0079
Edad (E)	1	0.0000	0.33	N.S. ¹
R*E	1	0.0056	30.71	0.0001
Error	20	0.0002		
<i>Dentro de animales</i>				
Muestreo (M)	4	0.0015	17.87	0.0001
M*R	4	0.0001	1.43	N.S.
M*E	4	0.0000	0.20	N.S.
M*R*E	4	0.0001	1.09	N.S.
Error	80	0.0001		
TOTAL	119			

¹N.S. = No significativo (P>0.05)

El análisis de varianza también reveló un efecto de muestreo (Cuadro 12). Las medias para el consumo voluntario por $\text{kg}^{0.75}$ por muestreo aparecen en el Cuadro 13 y el Cuadro 14 muestra la transformación polinomial de dicho efecto, la cual indica un comportamiento de tipo cúbico ($P = 0.002$), el cual se aprecia en la figura 3.

Al igual que en el consumo total, el consumo voluntario por $\text{kg}^{0.75}$ presentó las mismas variaciones con respecto a la digestibilidad del forraje (Cuadro 4). El bajo consumo en M1 es atribuido al cambio de dieta en un periodo de adaptación muy corto (7 días). M2 y M3 presentaron los mayores consumos, lo cual coincide con las mejores digestibilidades del forraje (66.55 y 64.84%, respectivamente). Aun cuando los valores son muy cercanos, en la gráfica se aprecia cierto descenso en M3, lo que pudo deberse al cambio de pradera. La digestibilidad del forraje en M4 fue mayor que la de M5; sin embargo, el consumo en este último muestreo fue más elevado. Posiblemente esto se haya debido a que las condiciones del tiempo durante el período M4 fueron adversas, ya que permanecieron fuertes lluvias y nublados durante varios días. Dulphy y Demarquilly (1994) señalan que condiciones como longitud del día y humedad afectan el apetito y el consumo. En esta investigación varios factores pudieron alterar el consumo voluntario, como: los cambios de condición corporal (peso), la disponibilidad del forraje y la estacionalidad reproductiva del ovino. Kennedy, citado por Donnelly et al. (1974), señala al contenido corporal de grasa como regulador del consumo voluntario de alimento. La variación que ocurre en la disponibilidad de alimento para los ovinos en pastoreo resulta en cambios en la condición corporal, lo cual puede acentuarse con el manejo, por ejemplo, el traslado de los animales de los alojamientos a los potreros (Donnelly et al., 1974). Por otra parte, de Waal y Biel (1989) señalan que cuando el forraje preferido por los animales es limitado, el comportamiento selectivo de los ovinos pastoreando puede causar disminuciones drásticas en el consumo de alimento porque el animal invierte mucho tiempo buscando plantas y partes de las mismas aceptables y en ocasiones no logra cubrir las necesidades de mantenimiento, aun cuando la calidad de la dieta parezca ser satisfactoria. En este estudio las praderas utilizadas (A y B), descritas anteriormente, tuvieron una baja disponibilidad del forraje apetecido.

Iason et al. (1994) afirman que la estacionalidad reproductiva del ovino también afecta el consumo de alimento por la demanda de nutrientes en la época de reproducción y este trabajo se realizó antes de que los animales comenzaran a ciclar y finalizó cuando sus ciclos estrales habían empezado. Es necesario recordar que la raza Rambouillet es menos estacional que la Suffolk.

El consumo de forraje estuvo correlacionado ($P = 0.0001$) con el peso de los animales ($r = 0.5216$). Suttle (1979) y Holmes et al., citados por Allison (1985), señalan que el consumo de alimento de rumiantes en pastoreo está relacionado con el peso de los mismos.

Cuadro 13. Consumo voluntario promedio por peso metabólico de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n = 24).

Efecto		Consumo (kg)	EEM ³
RAZA Rambouillet	EDAD¹ adultas	0.051 ^a	0.0018
	corderas	0.063 ^{ab}	0.0025
Suffolk	adultas	0.071 ^b	0.0028
	corderas	0.057 ^a	0.0016
MUESTREO²			
	1	0.056	0.0023
	2	0.071	0.0033
	3	0.068	0.0024
	4	0.053	0.0026
	5	0.056	0.0023

¹Raza * Edad $P = 0.0001$ ^{a,b} literal diferente indica diferencia significativa ($P < 0.05$)

²Muestreo $P = 0.0001$

³EEM= Error estándar de la media

Cuadro 14. Transformación polinomial del efecto de muestreo en el consumo voluntario por peso metabólico de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0007	10.43	0.0042
Raza	1	0.0003	5.55	0.0288
Edad	1	0.0000	0.02	N.S. ¹
Raza * Edad	1	0.0000	0.19	N.S.
Error	20	0.0001		
Efecto cuadrático				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0021	33.21	0.0001
Raza	1	0.0000	0.04	N.S.
Edad	1	0.0000	0.09	N.S.
Raza * Edad	1	0.0002	2.91	N.S.
Error	20	0.0001		
Efecto cúbico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0030	21.57	0.0002
Raza	1	0.0001	0.41	N.S.
Edad	1	0.0001	0.20	N.S.
Raza * Edad	1	0.0000	0.01	N.S.
Error	20	0.0001		
Efecto cuártico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0002	2.78	N.S.
Raza	1	0.0001	0.97	N.S.
Edad	1	0.0000	0.46	N.S.
Raza * Edad	1	0.0002	2.43	N.S.
Error	20	0.0001		

¹N.S. = No significativo (P > 0.05)

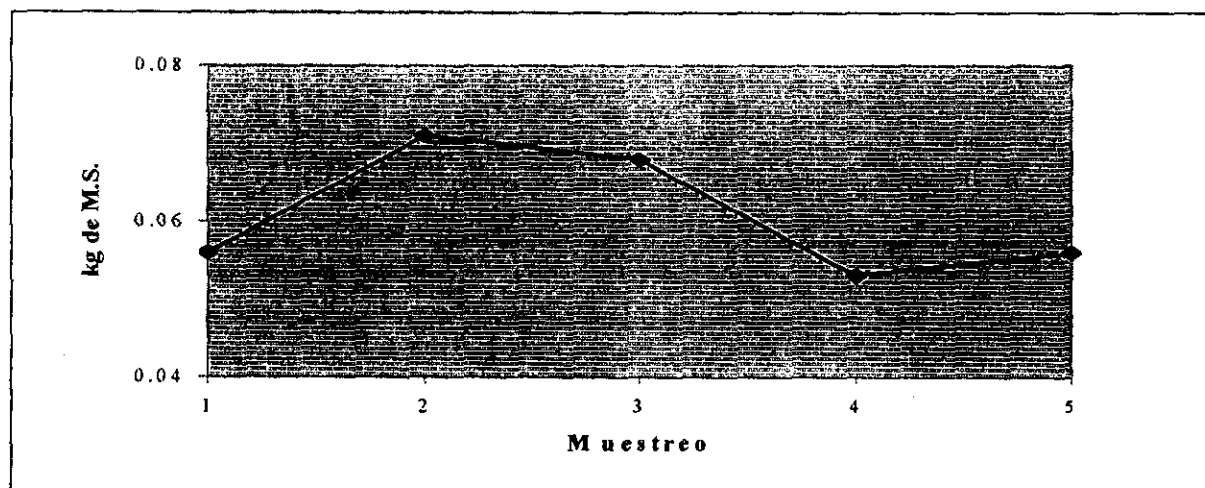


Figura 3. Consumo voluntario promedio (kg de materia seca) por peso metabólico de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

CONCENTRACIÓN DE MINERALES: El Cuadro 15 presenta las concentraciones de minerales en sangre, plasma y lana según varios autores, y son consideradas como parámetros normales para los ovinos.

Cuadro 15. Concentración de macrominerales y microminerales (ppm) en sangre, plasma y lana de ovinos, según diferentes autores.

	Sangre	Plasma	Lana
Ca	60 ⁽¹⁸⁾ 112 ⁽⁸⁷⁾	115 - 128 ⁽⁸⁸⁾	1500 - 4100 ⁽⁶⁾
P _i	170-200 ⁽¹⁸⁾	50 - 73 ⁽⁸⁸⁾ 45 ⁽⁴⁴⁾	
Mg	20 - 25 ⁽¹⁸⁾	24 ⁽⁸⁸⁾ 17 - 36 ⁽⁶⁸⁾	185 ⁽⁶⁾
S	5900 ⁽¹⁸⁾	1400 ⁽¹⁸⁾ 1200 ⁽⁴⁴⁾	30500 - 32000 ⁽⁴⁴⁾
Cu	0.8 - 1.2 ⁽¹⁸⁾	0.7 - 1.3 ⁽²⁷⁾	2.9 ⁽⁴⁴⁾ 3.1 - 7 ⁽²⁰⁾ 17.36 ⁽⁸⁹⁾ 25 ⁽⁶⁾
Zn	4 - 5 ⁽¹⁸⁾	0.74 ⁽⁸⁷⁾ 0.6-1.2 ⁽⁶¹⁾	35 - 195 ⁽⁶⁾ 82 - 119 ⁽²⁰⁾ 278.5 ⁽⁸⁷⁾
Fe	280 - 525 ⁽¹⁸⁾ 360 - 420 ⁽⁶⁸⁾	1.02 - 3.04 ⁽⁵⁸⁾	13.6 - 44 ⁽²⁰⁾ 52.80 ⁽⁸⁹⁾
Se	0.02 ⁽²³⁾ 0.05-0.18 ⁽¹⁸⁾	0.023 ⁽⁴⁴⁾	

P_i = P inorgánico

- 6 Scott, (1991)
- 18 Georgievskii, (1982)
- 20 Grace y Clark (1991)
- 23 Underwood (1981)
- 27 N.R.C. (1985)
- 44 Grace y Lee, (1992)
- 58 Morris (1987)
- 61 Tower y Grace (1983)
- 68 Hindson y Winter (1990)
- 87 Grace, (1983)
- 88 Kaneko, (1989)
- 89 Wójcikowska (1994)

CALCIO EN SANGRE Y EN PLASMA: El Cuadro 16 presenta el análisis de varianza para la concentración de Ca en sangre y plasma. La concentración **sanguínea** fue muy similar para las dos razas y edades (56 ppm \pm 0.4 EEM). Ningún efecto resultó significativo debido a la estricta regulación hormonal bajo la que se encuentra este mineral en el organismo (Brown, 1991). Aceves (1997), quien trabajó con ovejas lactantes de las razas Suffolk y Rambouillet en confinamiento, tampoco encontró diferencias en la concentración sanguínea de Ca por efecto de la raza. La concentración sanguínea de Ca en los animales fue inferior a la señalada por Georgievskii (1982) y Grace (1983) (Cuadro 15). Sin embargo, los animales se encontraban clínicamente sanos.

La concentración de **Ca en plasma** fue muy similar para las dos razas y edades (106 ppm \pm 2.12 EEM). Van Niekerk et al. (1989) no encontraron diferencia en la concentración plasmática de Ca entre razas de ovinos (Merino, Merino Dohne y Mutton Merino sudafricanas), pero sí hubo diferencia ($P \leq 0.05$) entre animales adultos y animales de 120 días de edad. En esta investigación la diferencia debida a la edad no se manifiesta porque las corderas casi habían alcanzado su estado adulto. El análisis reveló también un efecto de la interacción muestreo*raza ($P=0.03$) y de la triple interacción muestreo*raza*edad ($P=0.02$). El Cuadro 17 muestra las medias para la triple interacción. Las concentraciones se mantuvieron por debajo de los parámetros normales (Cuadro 15). Georgievskii (1982) señala que si el Ca plasmático total disminuye a 20-25 ppm se presenta signología de hipocalcemia, lo cual también ocurre cuando el Ca^{2+} cae al 40 ó 30 % del Ca total.

La transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración plasmática de Ca no encontró efecto alguno (lineal, cuadrático, cúbico o cuártico) significativo. Probablemente, la gran variación que se presentó en los niveles de Ca plasmático, y que puede apreciarse en la figura 4, hizo imposible encontrar un comportamiento definido.

Cuadro 16. Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Ca en sangre y plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	SANGRE				PLASMA			
	G. L.	Cuadrado Medio	F	P	G. L.	Cuadrado Medio	F	P
<i>Entre animales</i>								
Raza (R)	1	2.2850	0.16	N.S. ¹	1	1479.0434	2.71	N.S.
Edad (E)	1	3.4816	2.42	N.S.	1	87.8906	0.16	N.S.
R*E	1	7.4816	0.54	N.S.	1	401.6684	0.74	N.S.
Error	18	13.8536			20	545.5094		
<i>Dentro de animales</i>								
Muestreo (M)	5	5.1133	0.48	N.S.	5	167.4934	0.72	N.S.
M*R	5	5.4282	1.43	N.S.	5	586.4934	2.51	0.03
M*E	5	15.7249	1.46	N.S.	5	473.7489	2.03	N.S.
M*R*E	5	13.6675	1.27	N.S.	5	684.9517	2.93	0.02
Error	95	967.9095			100	233.4560		
TOTAL	136				143			

¹N.S. = No significativo (P>0.05)

Cuadro 17. Concentración media de Ca en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n=24).

RAZA	EDAD	MUESTREO	Media (ppm)	EEM¹
Rambouillet	adultas	0	106.7	9.9
		1	114.6	6.0
		2	119.0	4.6
		3	116.7	8.7
		4	103.2	6.6
		5	102.8	1.9
	corderas	0	102.9	5.1
		1	105.7	3.1
		2	118.1	7.3
		3	98.5	5.7
4		120.2	9.5	
	5	107.1	6.2	
Suffolk	adultas	0	88.0	6.2
		1	98.7	9.8
		2	96.0	7.9
		3	112.7	9.8
		4	110.7	7.2
		5	98.5	7.2
	corderas	0	107.8	5.0
		1	105.2	9.2
		2	96.9	4.8
		3	107.5	4.0
4		93.4	5.0	
	5	123.1	6.2	

¹EEM= Error estándar de la media

La repetición del sangrado al regreso del pastoreo, a causa de la hemólisis de algunas muestras, representó para la medición de la concentración mineral una fuente de variación importante, ya que algunos parámetros sanguíneos se elevan postprandialmente (Brown, 1991). Sin embargo, no se encontró correlación alguna entre los niveles plasmáticos de Ca y el consumo del mineral, posiblemente debido a la estrecha regulación hormonal de la calcemia. El grupo de ovejas adultas (RA y SA) mostró un aumento paulatino en la concentración de Ca plasmático de M0 a M3, aunque en el grupo SA hubo

una disminución en M2, quizá por el cambio de pradera. De M3 a M5, los niveles descendieron. Aun cuando las ovejas adultas tuvieron niveles iniciales de Ca en plasma muy diferentes, al final de la fase de campo los niveles fueron muy similares. Las corderas, (RC y SC) por el contrario, tuvieron comportamientos opuestos y el grupo RC presentó los niveles más altos de Ca plasmático en M5. Las diferencias entre las curvas explican la triple interacción muestreo*raza*edad. Braithwaite (1975) menciona que los animales jóvenes presentan una mayor eficiencia en la absorción respecto a los animales adultos. Las corderonas, según Georgievskii (1982), asimilan en promedio 40% del Ca ingerido, en tanto los animales que han completado su crecimiento asimilan 10-20%. En general, la raza Rambouillet presentó concentraciones de Ca en plasma mayores a las de la raza Suffolk, lo cual puede atribuirse a la rusticidad de esa raza, adaptándose a condiciones adversas, en tanto la raza Suffolk es más exigente en sus necesidades para poder mantenerse.

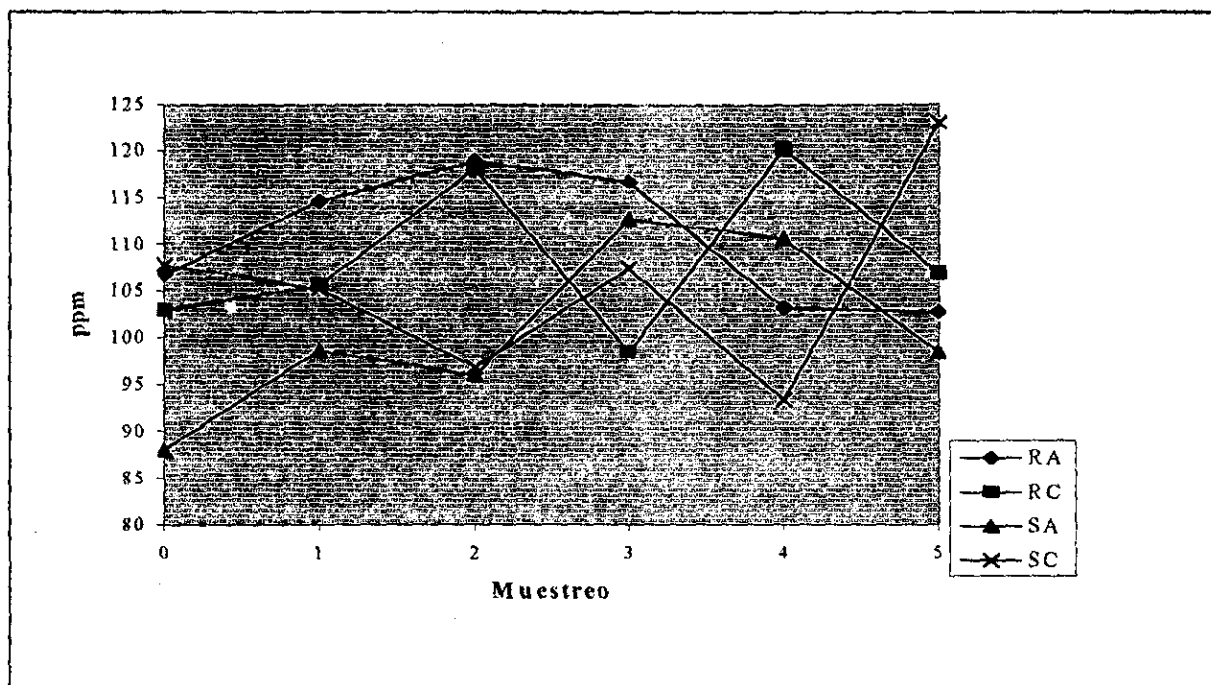


Figura 4. Concentración promedio de Ca en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.

Las concentraciones sanguínea y plasmática de Ca estuvieron correlacionadas ($P < 0.02$) con el peso de los animales ($r = -0.2$ y -0.17 , respectivamente); es decir, al aumentar el peso corporal, los niveles sanguíneos y plasmáticos de Ca disminuyeron o viceversa. Esto quizá se debió a que durante los muestreos iniciales, al descender el peso de los animales (figura 1), se presentó un aumento en las concentraciones sanguíneas y plasmáticas de Ca. Aceves (1987) encontró una correlación baja entre Ca en sangre y el peso de ovejas lactantes de las razas Rambouillet y Suffolk ($P = .04$, $r = 0.136$).

La concentración sanguínea de Ca estuvo correlacionada ($P = 0.037$) con la de Ca plasmático ($r = 0.17$). Se esperaba una mayor asociación debido a que son muestras del mismo origen. Georgievskii (1982) afirma que la mayor parte del Ca sanguíneo se encuentra en el suero. Con Zn plasmático, el coeficiente de correlación fue 0.22; con el Cu sanguíneo, $r = 0.17$ y con Fe sanguíneo, $r = -0.17$. Pastrana et al. (1991) trabajaron para determinar el status de los macrominerales de ovinos en pastoreo en la región de los Páramos en Colombia y encontraron las siguientes correlaciones entre los minerales en el suero ($P < 0.05$): Ca-Fe = 0.65 y Ca-Zn $r = 0.77$. Aceves (1997) encontró en ovejas lactantes de la raza Rambouillet y Suffolk una correlación ($P = 0.04$) entre Ca y Cu en sangre completa ($r = 0.136$) y de Ca y Zn en sangre completa ($r = 0.128$). Schonewille y Beynen (1994) mencionan la existencia de una interacción Cu-Ca e indican que los niveles plasmáticos de Cu y de ceruloplasmina no son afectados por el nivel de Ca en la dieta.

La concentración plasmática de Ca estuvo correlacionada también con la concentración plasmática de Mg ($P = 0.0001$, $r = 0.57$), probablemente debido a que comparten varios aspectos de su metabolismo. Por ejemplo, ambos, pero principalmente el Ca, ejercen control sobre la liberación de PTH (Capen y Rosol, 1989; Brown, 1991). En esta investigación el consumo de Ca estuvo correlacionado con el consumo de forraje ($P = 0.0001$, $r = 0.83$).

FÓSFORO EN SANGRE Y EN PLASMA: El Cuadro 18 muestra el análisis de varianza para la concentración de P en sangre y en plasma. La **concentración sanguínea de P** fue similar tanto para las dos razas como para las dos edades ($140.39 \text{ ppm} \pm 4.99 \text{ EEM}$). El mismo análisis mostró un efecto de muestreo ($P=0.03$) y el Cuadro 19 presenta las medias para dicho efecto. Aceves (1997) tampoco encontró efecto de la raza en las concentraciones sanguíneas de P en ovejas de las razas Rambouillet y Suffolk.

Cuadro 19. Concentración media de P en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n=23).

MUESTREO¹	Media (ppm)	EEM²
0	150.34	7.19
1	137.47	8.83
2	163.57	7.86
3	132.71	7.31
4	131.60	9.06
5	127.60	9.71

¹Muestreo P = 0.03.

²EEM= Error estándar de la media

Georgievskii (1982) menciona que las concentraciones sanguíneas de P se ven influidas directamente por los niveles de P dietario, ya que este mineral no se encuentra tan regulado endócrinamente como Ca.

Las concentraciones promedio por muestreo (Cuadro 19) fueron inferiores a las señaladas por Georgievskii (1982) (Cuadro 15). Betteridge (1986) menciona que se requieren largos periodos de tiempo sin la suplementación adecuada de P para que se presente signología clínica.

La transformación polinomial (Cuadro 20) reveló un efecto de comportamiento de quinto orden. Esto indica que las concentraciones sanguíneas promedio de P de cada muestreo fueron diferentes, como puede apreciarse en la figura 5.

Cuadro 18. Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de P en sangre y plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	SANGRE				PLASMA			
	G. L.	Cuadrado Medio	F	P	G. L.	Cuadrado Medio	F	P
<i>Entre animales</i>								
Raza (R)	1	261.9075	0.27	N.S. ¹	1	657.4251	0.50	N.S.
Edad (E)	1	1637.5320	1.68	N.S.	1	1203.3837	0.91	N.S.
R*E	1	2813.7997	2.89	N.S.	1	87.4444	0.07	N.S.
Error	19	972.3639			19	1321.1249		
<i>Dentro de animales</i>								
Muestreo (M)	5	4396.6269	2.52	0.03	5	1195.4957	1.16	N.S.
M*R	5	1928.4219	1.11	N.S.	5	1665.5441	1.62	N.S.
M*E	5	1831.0175	1.05	N.S.	5	694.6988	0.67	N.S.
M*R*E	5	1133.2224	0.65	N.S.	5	2577.4260	2.50	0.04
Error	95	1741.7701			95	1029.4810		
TOTAL	137				137			

¹N.S. = No significativo (P>0.05)

Cuadro 20. Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración sanguínea de P en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	8289.6625	8.23	0.0098
Raza	1	34.9593	0.03	N.S. ¹
Edad	1	2565.6901	2.55	N.S.
Raza * Edad	1	20.7262	0.02	N.S.
Error	19	1007.4644		
Efecto cuadrático				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	618.5726	0.29	N.S.
Raza	1	3994.9608	1.88	N.S.
Edad	1	1045.1271	0.49	N.S.
Raza * Edad	1	4071.7606	1.92	N.S.
Error	19	2125.2603		
Efecto cúbico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	495.7864	0.21	N.S.
Raza	1	475.1588	0.20	N.S.
Edad	1	253.7614	0.10	N.S.
Raza * Edad	1	833.7711	0.36	N.S.
Error	19	2326.5245		
Efecto cuártico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	3682.8251	2.04	N.S.
Raza	1	5133.4067	2.85	N.S.
Edad	1	3932.6723	2.18	N.S.
Raza * Edad	1	292.1221	0.16	N.S.
Error	19	1803.8779		
Efecto de quinto orden				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	8896.3016	6.15	0.0226
Raza	1	3.6241	0.00	N.S.
Edad	1	1375.8363	0.95	N.S.
Raza * Edad	1	447.7318	0.31	N.S.
Error	19	1445.7233		

¹N.S. = No significativo ($P > 0.05$)

De M0 a M1 los niveles disminuyeron, lo cual coincidió con el cambio de alimentación de pastoreo con suplementación en corral a únicamente pastoreo. De M1 a M2

los niveles se incrementaron, posiblemente porque al disminuir la concentración de P en la dieta aumenta su absorción. De M2 a M5 dichos niveles disminuyeron al disminuir también los contenidos de P en el forraje. Betteridge (1986) menciona que la concentración sérica de P_i varía con concentraciones cambiantes de P en la dieta; sin embargo, los mecanismos de control homeostáticos son capaces de mantener las concentraciones dentro de un rango estrecho de variación.

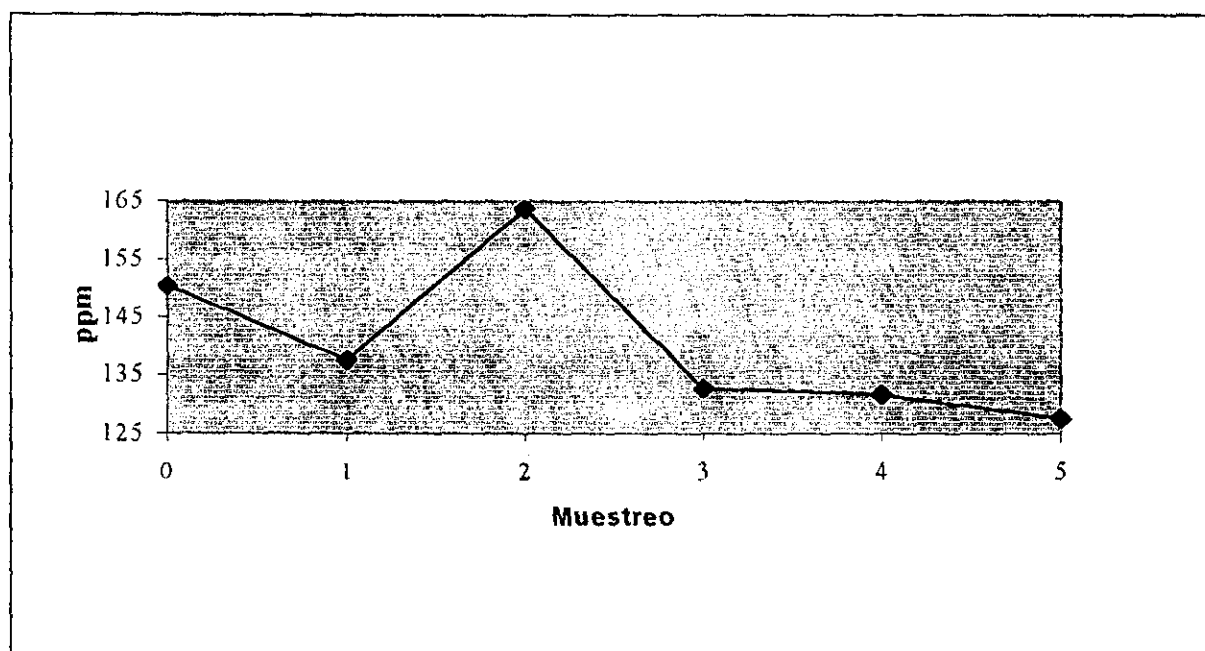


Figura 5. Concentración promedio de P en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

La **concentración plasmática de P** fue similar tanto para las dos razas como para las dos edades ($81.29 \text{ ppm} \pm 3.85 \text{ EEM}$, Cuadro 18). Van Niekerk et al. (1989) encontraron que la raza Merino tuvo concentraciones plasmáticas de P mayores ($P \leq 0.005$) respecto a las razas Merino Dohne y Mutton Merino sudafricanas; además, los animales de 120 días de edad tuvieron concentraciones también significativamente mayores a las de los animales adultos. Betteridge (1986) encontró que en bovinos, la concentración sérica de P_i no se relaciona con la raza ($P > 0.01$), pero sí disminuye conforme aumenta la edad.

A diferencia del P sanguíneo, las concentraciones de P en plasma estuvieron dentro de los valores considerados como normales (Cuadro 15). Esto posiblemente se debió al momento del sangrado para la obtención del plasma, el cual fue después de la ingesta de alimento. Pfeffer et al. (1993) mencionan que en rumiantes la concentración plasmática de P_i está altamente influenciado por la tasa de consumo de P. El consumo de P en este trabajo tuvo una correlación con el consumo de forraje ($P = 0.0001$, $r = 0.81$).

El análisis de varianza para la concentración plasmática de P también mostró el efecto de una triple interacción entre muestreo*raza*edad ($P=0.0004$). El Cuadro 21 presenta las medias para la triple interacción. Pero, la transformación polinomial no indicó un comportamiento definido, posiblemente debido a la gran variación que se presentó en los niveles plasmáticos de P y que se observa en la figura 6.

Las ovejas adultas presentaron comportamientos casi opuestos. El grupo RA mostró aumento de M0 a M3, con un descenso en M2 correspondiente al cambio de pradera. En M4 y M5 los niveles descendieron nuevamente. Las ovejas SA presentaron una disminución de M0 a M3 y posteriormente aumentaron durante los dos últimos muestreos; sin embargo, aunque fueron las que finalizaron con la concentración más elevada, no alcanzaron su nivel inicial. El grupo RC presentó un comportamiento estable, iniciando y terminando con concentraciones semejantes. El grupo SC presentó de M0 a M2 un aumento en el P plasmático. De M3 a M4 hubo una disminución y posteriormente en M5 de nuevo se elevó la concentración plasmática de P. En M1 y en M5, los animales tuvieron concentraciones de P muy similares. En la figura 6 se puede apreciar que las corderas presentaron un comportamiento menos variable, lo que posiblemente se atribuya a que los animales jóvenes presentan un mayor grado de asimilación del mineral, cercano al 80%, en tanto las adultas sólo asimilan el 60% (Georgievskii, 1982). Pond (1983) trabajó con corderos de las razas Columbia y cruza de Suffolk de 8 semanas de edad y encontró que las concentraciones plasmáticas de P no fueron afectadas por la dieta, sexo, raza o tiempo. Abdelrahman y Kincaid (1992) confirman que el P_i en suero responde rápidamente a dietas con bajo contenido de P. Estos autores, citando a Forar, señalan que los cambios en los niveles séricos de P_i ocurren a pocas horas del consumo de alimento. Garel (1987) afirma

que la variación en las concentraciones séricas de P en condiciones normales es amplia y está relacionada con la edad, dieta y estado general de salud.

Cuadro 21. Concentración media de P en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n= 23).

RAZA	EDAD	MUESTREO ¹	Media (ppm)	EEM ²
Rambouillet	adultas	0	84.07	18.93
		1	85.31	21.22
		2	72.95	7.27
		3	118.69	18.35
		4	61.06	11.00
	corderas	0	74.64	10.42
		1	81.60	11.00
		2	72.95	6.75
		3	79.75	10.48
		4	74.19	8.12
Suffolk	adultas	0	108.80	10.61
		1	81.01	16.74
		2	91.49	19.78
		3	53.17	6.47
		4	81.60	16.02
	corderas	0	65.28	7.76
		1	81.64	12.30
		2	99.41	5.50
		3	96.44	12.30
		4	65.29	11.81
		5	74.18	10.04

¹Muestreo*Raza*Edad P = 0,04

²EEM= Error estándar de la media

El P en sangre estuvo correlacionado ($P < 0.01$) con la concentración de Mg en sangre ($r = 0.27$) y con Se en sangre ($r = 0.3$). El NRC (1980) y Underwood (1981) mencionan que los metabolismos de P y Mg están relacionados, ya que este último cataliza la mayoría de las transferencias de P. Keen y Graham (1989) señalan que los niveles de P en la dieta afectan la absorción y/o la excreción de Se.

La concentración plasmática de P estuvo correlacionada ($P < 0.05$) negativamente con el Cu en plasma ($r = -0.22$) y con Fe en plasma ($r = -0.17$). Georgievskii (1982) menciona que en ovinos la asimilación de P se reduce si los animales se alimentan con cantidades altas de Cu, I y Mn. Esta interacción puede ser producida durante el metabolismo. En cuanto al Fe, Georgievskii (1982), Morris (1987) y Smith (1989) señalan que el P puede disminuir la absorción de Fe y bloquearla casi por completo y viceversa. Por otro lado, McDowell et al. (1978) mencionan que dietas elevadas en Fe, disminuyen la concentración plasmática de P.

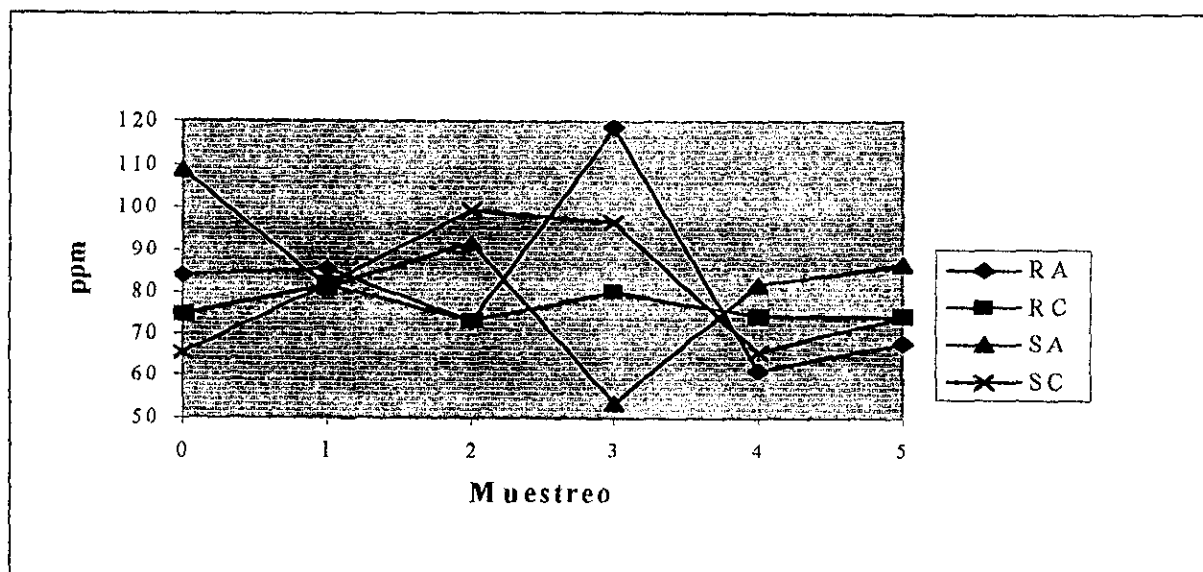


Figura 6. Concentración de P en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.

Es necesario señalar que la cantidad de suplemento que inicialmente recibían los animales era diferente para cada etapa productiva, pero la base de dicho suplemento era la misma para todo el hato. En el período inicial de este estudio se presentaron en el rancho varios casos de urolitiasis entre los corderos (animales altamente susceptibles a este padecimiento), al parecer por un desbalance Ca:P en la dieta. La raza más afectada fue la Suffolk. Al ser la base del concentrado igual para todos los animales, esto pudo tener algún

efecto en las concentraciones sanguíneas de minerales en las unidades experimentales, lo cual repercutió en los resultados obtenidos, sobre todo en los casos de Ca, P y Mg, que se involucran en este padecimiento. El NRC (1980) y Larvor (1983) afirman que el exceso de P en la dieta de rumiantes machos jóvenes incrementa significativamente las pérdidas económicas por urolitiasis. Viana y Zometa (1978) mencionan la interrelación entre Ca, P y Mg en ovinos. De modo que dietas altas en Ca provocan una disminución en las concentraciones plasmáticas y óseas de Mg y un aumento en la concentración plasmática de Ca, en tanto la de P tiende a disminuir. Por otra parte, dietas altas en Mg, disminuyen el Ca y P plasmáticos. Además, señalan que el P dietético no ejerce efecto sobre la utilización del Mg, sin embargo, no mencionan el efecto sobre el Ca.

MAGNESIO EN SANGRE Y EN PLASMA: El Cuadro 22 muestra el análisis de varianza para la concentración de Mg en sangre y en plasma. La **concentración sanguínea de Mg** fue similar para las dos razas y las dos edades ($23.53 \text{ ppm} \pm 0.675 \text{ EEM}$). El análisis de varianza reveló también el efecto de la interacción muestreo*raza ($P=0.01$) y sus medias son presentadas en el Cuadro 23.

De acuerdo con Georgievskii (1982) (Cuadro 15), las concentraciones de Mg sanguíneo se encontraron dentro de los valores normales; el mismo autor señala que estas concentraciones se relacionan directamente con el contenido del mineral en la dieta y el promedio de asimilación es pobre y depende del tipo de alimento. Así, en el caso de los pastos es de aproximadamente 16-20%.

Posiblemente debido a la variación que se presentó en los niveles sanguíneos de Mg, y que se observa en la figura 7, en la transformación polinomial no se encontró un comportamiento definido del efecto muestreo.

Cuadro 22. Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Mg en sangre y plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	SANGRE					PLASMA				
	G. L.	Cuadrado Medio	F	P	G. L.	Cuadrado Medio	F	P		
<i>Entre animales</i>										
Raza (R)	1	77.7512	2.40	N.S. ¹	1	1.1736	0.25	N.S.		
Edad (E)	1	7.5000	0.23	N.S.	1	0.1736	0.04	N.S.		
R*E	1	22.4987	0.69	N.S.	1	11.1111	2.37	N.S.		
Error	19	32.4133			20	4.6924				
<i>Dentro de animales</i>										
Muestreo (M)	5	7.1323	0.89	N.S.	5	14.7403	4.43	0.001		
M*R	5	25.9597	3.23	0.01	5	10.2278	3.08	0.013		
M*E	5	7.8690	0.98	N.S.	5	2.0111	0.61	N.S.		
M*R*E	5	13.9331	1.74	N.S.	5	12.7736	3.84	0.003		
Error	95	8.0221			100	3.3240				
TOTAL	137				143					

¹N.S. = No significativo (P>0.05)

Cuadro 23. Concentración media de Mg en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n= 23).

RAZA	MUESTREO ¹	Media (ppm)	EEM ²
Rambouillet	0	23.87	1.41
	1	20.98	0.92
	2	23.42	0.94
	3	22.64	1.26
	4	21.63	0.78
	5	24.01	1.44
Suffolk	0	23.54	0.91
	1	23.86	1.12
	2	23.42	0.61
	3	25.37	0.78
	4	26.05	0.95
	5	23.46	0.92

¹Muestreo * Raza P = 0.01.

²EEM= Error estándar de la media

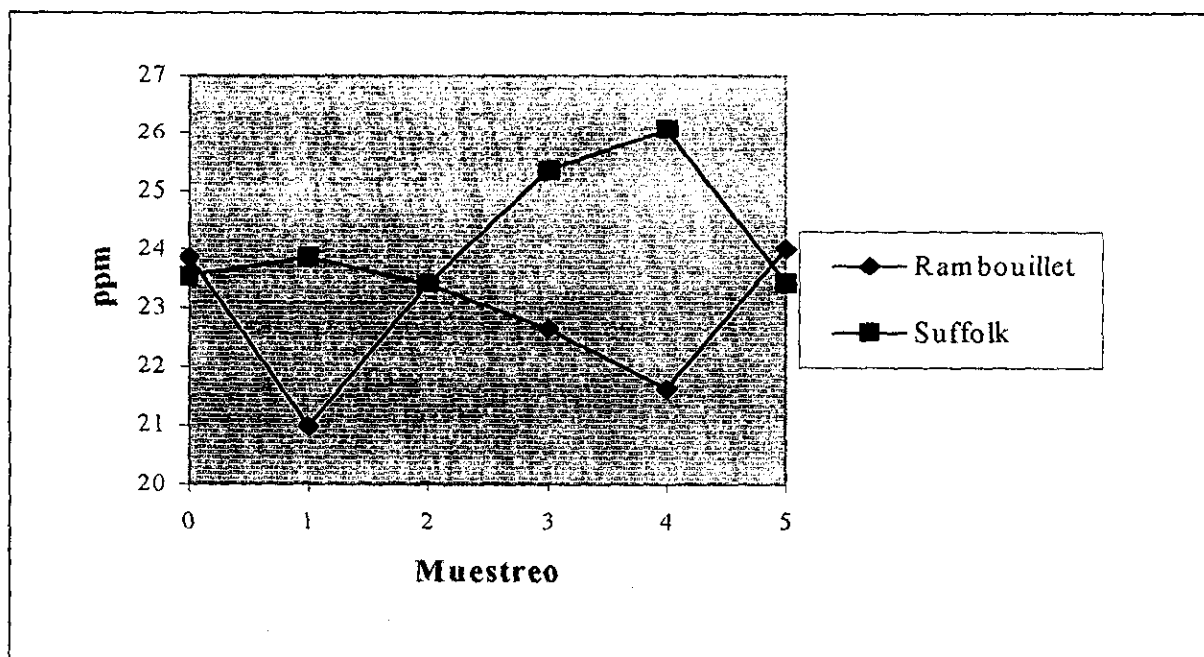


Figura 7. Concentración de Mg en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Las razas presentaron un comportamiento opuesto. Se aprecia que los niveles sanguíneos de Mg en M0 fueron muy semejantes para las dos razas y coinciden con la alimentación basada en el pastoreo y la complementación en pesebre con concentrado y heno de avena. De M0 a M1 y de M2 a M4, la raza Rambouillet presentó una caída en los niveles sanguíneos de Mg, alcanzando las concentraciones más bajas en M1 y M4, cuando los animales estaban por cambiar de la pradera A a la B. Por el contrario, la raza Suffolk presentó elevaciones en sus niveles de Mg sanguíneo de M2 a M4 y finalmente estos niveles disminuyeron en M5. Las dos razas terminaron con niveles de Mg muy semejantes. En general, la raza Rambouillet mantuvo sus niveles más bajos que la raza Suffolk, lo que pudo deberse a que la raza es más nerviosa que la Suffolk y en situaciones de estrés se libera adrenalina, que causa disminuciones del Mg sanguíneo (Mittwer et al., 1985).

La **concentración de Mg en plasma** fue similar (Cuadro 22) para las dos razas y edades ($13.73 \text{ ppm} \pm 0.25 \text{ EEM}$). Van Niekerk et al. (1989) encontraron que en ovinos de las razas Merino, Merino Dohne y Mutton Merino sudafricanas las concentraciones plasmáticas de Mg no se afectan por la raza ni la edad de los animales. El análisis de varianza mostró un efecto de muestreo ($P=0.001$), la interacción muestreo*raza ($P=0.013$) y la triple interacción muestreo*raza*edad ($P=0.003$). El Cuadro 24 presenta las medias para esta triple interacción. Las concentraciones fueron inferiores a lo reportado por la literatura (Cuadro 15). Mittwer et al. (1995) señalan que la concentración de Mg plasmático es indicador de la movilización interna, por lo tanto, del volumen de reserva inmediata. Sin embargo, Capen y Rosol (1989) mencionan que es difícil valorar el status de Mg del animal porque el plasma representa sólo el 1% del total de Mg corporal. Las bajas concentraciones se atribuyen al momento del sangrado, puesto que las concentraciones en sangre total sí estuvieron dentro de los valores considerados como normales: el manejo después del pastoreo y movilización de los animales pudo ocasionar estrés y con ello la liberación de adrenalina que disminuye la concentración sanguínea de Mg (Mittwer et al., 1985)

La transformación polinomial para encontrar la curva de comportamiento del efecto de muestreo sobre la concentración plasmática de Mg no encontró un comportamiento definido, posiblemente debido a la variación que hubo y que se aprecia en la figura 8.

La transformación HELMERT (Cuadro 25) encontró que la media de M0 fue diferente de la media de M1 a M5 ($P = 0.0003$). Esto quizá se debió a la suplementación mineral que recibieron las ovejas al inicio de la investigación y que se les retiró de M1 en adelante. El aumento en la concentración de Mg de M1 a M5, en comparación con M0, quizá estuvo asociado al desbalance de Ca y P al inicio del experimento.

Cuadro 24. Concentración media de Mg en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n= 24).

RAZA	EDAD	MUESTREO ¹	Media (ppm)	EEM ²
Rambouillet	adultas	0	13.08	0.75
		1	13.67	0.73
		2	14.75	0.57
		3	14.75	0.53
		4	13.83	0.56
	5	14.17	0.36	
	corderas	0	10.17	0.88
		1	13.25	0.44
		2	14.92	0.58
		3	13.75	0.48
4		15.25	0.82	
Suffolk	adultas	0	11.50	0.71
		1	13.83	0.86
		2	13.33	0.46
		3	14.67	0.59
		4	13.83	1.11
	5	12.83	1.17	
	corderas	0	14.08	0.92
		1	15.33	1.05
		2	13.00	0.46
		3	14.58	1.30
4		11.92	0.37	
5	14.83	0.49		

¹Muestreo*Raza*Edad $P = 0.003$

²EEM= Error estándar de la media

Los niveles iniciales de Mg en plasma para los cuatro grupos fueron variables, no así los niveles finales que tendieron a ser semejantes. Los dos grupos Rambouillet terminaron en el mismo punto, en tanto el grupo SC presentó las concentraciones más elevadas y el grupo SA, las más bajas en M5. El grupo RA presentó un comportamiento casi lineal y fue el menos variable respecto a los otros grupos. El grupo RC presentó de M0 a M4 una elevación en los niveles plasmáticos de Mg con una caída en M3, que coincidió con un cambio de pradera. En M5 sus niveles descendieron nuevamente. El grupo SA mostró un aumento en la concentración plasmática de Mg de M0 a M3 con un descenso en M2, momento en el cual hubo un cambio de pradera. En M4 y M5 los niveles del mineral descendieron nuevamente. El grupo SC presentó durante todo el período de investigación el comportamiento más variable.

Capen y Rosol (1989) mencionan que los cambios súbitos de alimentación tanto en calidad como en cantidad, así como el estro y los vientos fuertes, disminuyen el consumo de alimento y con ello afectan los niveles de Mg en sangre. Todas estas condiciones se presentaron durante el desarrollo de la investigación, lo cual pudo haber influido sobre las concentraciones plasmáticas de Mg, esto aunado al tiempo de sangrado (al regreso del pastoreo). Al parecer, la raza Rambouillet fue la que pudo mantener sus niveles con menor variación lo cual podría haber sido por la rusticidad de la raza que la hace capaz de adaptarse a condiciones adversas. La interacción muestreo*raza*edad encontrada en el análisis de varianzas es explicada por las diferencias entre las curvas para la concentración de Mg en plasma.

La concentración sanguínea de Mg estuvo correlacionada ($P < 0.05$) con las concentraciones sanguíneas de Cu ($r = 0.29$), de Fe ($r = 0.21$) y de Zn ($r = 0.21$) y con la concentración de S en lana ($r = 0.22$). La concentración plasmática de Mg estuvo relacionada con la concentración plasmática de Cu ($r = 0.22$). Al parecer la literatura no reporta hallazgos similares en otros estudios. El consumo de Mg estuvo correlacionado con el consumo de forraje ($P = 0.0001$, $r = 0.84$).

Cuadro 25. Transformación HELMERT¹ del efecto de muestreo en la concentración plasmática de Mg, en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Muestreo Cero				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	80.6667	18.59	0.0003
Raza	1	15.6817	3.61	N.S. ²
Edad	1	0.4817	0.11	N.S.
Raza * Edad	1	41.6067	9.59	N.S.
Error	20	4.3382		
Muestreo 1				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0163	0.00	N.S.
Raza	1	23.2559	6.36	0.0203
Edad	1	1.6934	0.46	N.S.
Raza * Edad	1	6.6413	1.82	N.S.
Error	20	3.6579		
Muestreo 2				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0011	0.00	N.S.
Raza	1	8.7604	3.83	N.S.
Edad	1	0.3345	0.15	N.S.
Raza * Edad	1	0.0567	0.02	N.S.
Error	20	45.7639		
Muestreo 3				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	8.1667	1.54	N.S.
Raza	1	11.3437	2.14	N.S.
Edad	1	5.0417	0.95	N.S.
Raza * Edad	1	3.7604	0.71	N.S.
Error	20	5.2969		
Muestreo 4				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	2.0417	0.21	N.S.
Raza	1	10.6667	1.10	N.S.
Edad	1	9.3750	0.97	N.S.
Raza * Edad	1	42.6667	4.42	N.S.
Error	20	9.6625		

¹Ver explicación en el texto.

²N.S. = No significativo (P > 0.05)

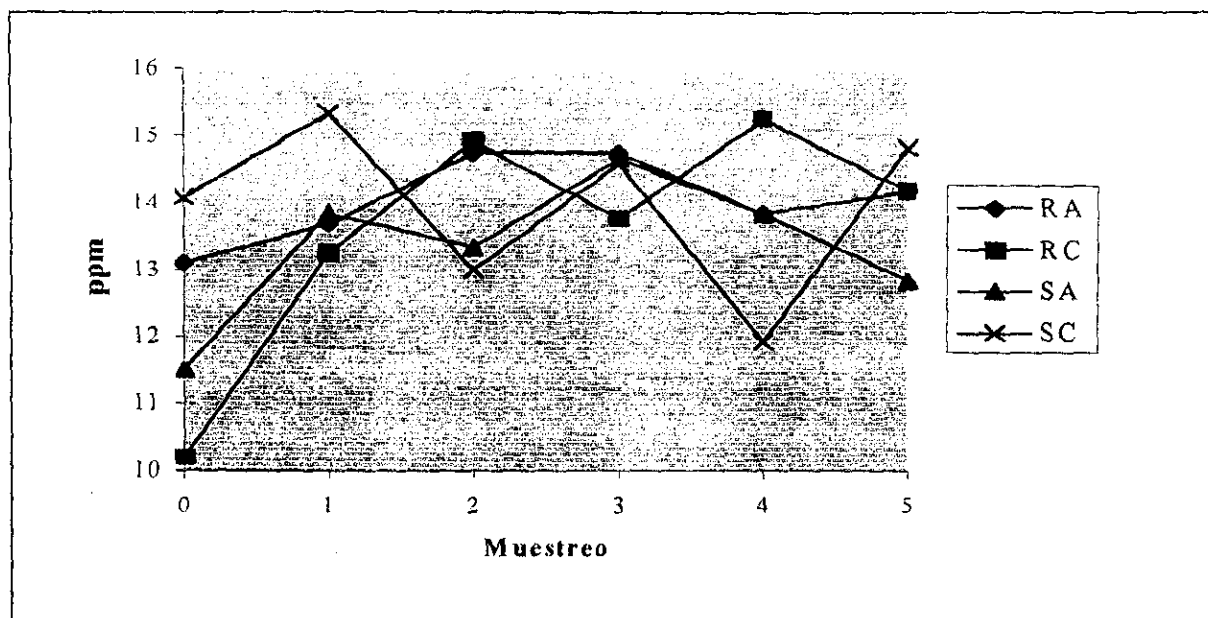


Figura 8. Concentración de Mg en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.

AZUFRE EN SANGRE Y PLASMA: El NRC (1980) señala que la volatilidad del azufre causa problemas analíticos para su cuantificación. Por otra parte, Grace y Lee (1990 y 1992) han determinado S en muestras de origen sanguíneo por medio de espectrometría de emisión de plasma. El método gravimétrico no presentó problemas para la determinación de S en lana, suelo y forraje. En el caso de las muestras hemáticas no se contó con la técnica ni con el equipamiento adecuado para determinar al mineral apropiadamente, por lo que los resultados obtenidos fueron considerados poco confiables. Por esta razón, no fueron analizados y no se presentan.

AZUFRE EN LANA: El Cuadro 26 muestra el análisis de varianza para la concentración de S en lana, presentando un efecto de raza ($P=0.0106$). La raza Suffolk tuvo una concentración mayor de azufre en lana $26223.42 \text{ ppm} \pm 786.08 \text{ EEM}$ que la raza Rambouillet, $23293.14 \text{ ppm} \pm 789.82 \text{ EEM}$. Aceves (1997) no encontró efecto de raza en la

concentración de S en lana de ovejas lactantes de las razas Rambouillet y Suffolk. Georgievskii (1982) menciona que la cantidad de S en la fibra depende de la raza y de la producción de la misma. Williams (1995) afirma que los ovinos productores de lana fina poseen menor concentración de S en lana. El análisis de varianza detectó también la interacción raza*edad ($P=0.0375$). Las medias para esta interacción se presentan en el Cuadro 27 y de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) los únicos grupos diferentes entre sí fueron el SC y RC, siendo la concentración de este último grupo la más baja. Esto pudo deberse a que este grupo de animales, además de estar creciendo, están especializados en producir lana, lo que los hace más susceptibles a las deficiencias de S (Qi et al., 1994). El NRC (1985) señala que la raza Merino es menos eficiente en la utilización del Cu que las razas inglesas (Suffolk) y al estar este metal estrechamente vinculado al S, puede ocasionar la diferente concentración del mismo en la lana.

Cuadro 26. Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de S en lana de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
<i>Entre animales</i>				
Raza (R)	1	257683701	7.49	0.0106
Edad (E)	1	44427046	1.37	N.S. ¹
R*E	1	161191388	4.97	0.0375
Error	20	32455849		
<i>Dentro de animales</i>				
Muestreo (M)	4	556111752.81	1.56	N.S.
M*R	4	59187548.58	1.66	N.S.
M*E	4	53405401.79	1.50	N.S.
M*R*E	4	3174735.16	0.09	N.S.
Error	80	35690235.51		
TOTAL	119			

¹N.S. = No significativo ($P>0.05$).

Cuadro 27. Concentración media de S en lana limpia de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

RAZA	EDAD¹	Media (ppm)	EEM²
Rambouillet	adultas	25060.59 ^{ab}	1129.68
	corderas	21525.69 ^a	1023.05
Suffolk	adultas	25673.39 ^{ab}	1272.41
	corderas	26774.45 ^b	934.93

¹Raza * edad P=0.0375 ^{a,b} literal diferente indica diferencia significativa (P< 0.05)

²EEM= Error estándar de la media

Las concentraciones de S en lana aquí encontradas estuvieron por debajo de lo reportado en la literatura (Cuadro 15). Georgievskii (1982) señala a la dieta como factor importante en la concentración de S en lana y menciona que el contenido de S en los forrajes es de alrededor de 0.11%. Sin embargo, en el forraje que se utilizó en esta investigación no se pudo cuantificar el mineral. El N.R.C. (1985) menciona que el contenido de S en los pastos maduros es bajo y bien puede no ser adecuado para un desarrollo óptimo. Qi et al. (1994) señalan que los ovinos productores de lana deben consumir dietas con un contenido mínimo de 0.30% de S (N/S máxima 5-6:1); los ovinos productores de carne, dietas con un mínimo de 0.25% (N/S máxima de 6-7:1), y los animales en crecimiento, dietas con un mínimo de 0.24 a 0.31% de S (N/S máxima de 8-9:1). La relación N/S es mayor para los animales en crecimiento porque requieren mayor cantidad de N.

Gillespie, citado por Grace y Lee (1992), menciona que el contenido de proteínas en la lana como es la queratina, con alto contenido de S, es bajo en animales deficientes en Cu. Las cuproenzimas como la sulfhidriloxidasa catalizan los grupos tiol a grupos disulfuro y una deficiencia en éstas causa cambios en la queratina (Underwood, 1981). Qi et al. (1994) señalan que aun cuando los balances de S y energía sean negativos, los animales movilizan el tejido corporal para mantener el crecimiento de la lana a cierto nivel. El S en lana estuvo

correlacionado ($P < 0.05$) con la concentración sanguínea ($r = 0.17$) y en lana ($r = 0.27$) de Cu, lo cual se explica por lo antes expuesto.

SELENIO EN SANGRE: El Cuadro 28 muestra el análisis de varianza para la concentración de Se en sangre, la cual fue similar para las dos razas y edades ($61.39 \text{ ppb} \pm 4.45 \text{ EEM}$). Se encontró un efecto de muestreo ($P = 0.0073$) y las medias correspondientes se presentan en el Cuadro 29.

Whelan et al. (1994) evaluaron dos fertilizantes y los compararon con pellets intrarruminales para ovinos en pastoreo y encontraron que las concentraciones plasmáticas de Se reflejan con más certeza los niveles de la suplementación del mineral. Esto coincide con lo señalado por Langlands et al. (1981) acerca de que la concentración de Se sanguíneo no varía en periodos cortos de tiempo, presumiblemente porque la mayor concentración de Se en sangre es intraeritrocítica.

Cuadro 28. Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Se en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
<i>Entre animales</i>				
Raza (R)	1	79.9630	0.04	N.S. ¹
Edad (E)	1	860.0336	0.42	N.S.
R*E	1	5814.3604	2.82	N.S.
Error	19	2062.1105		
<i>Dentro de animales</i>				
Muestreo (M)	5	3613.9979	3.40	0.0073
M*R	5	2341.1751	2.20	N.S.
M*E	5	965.7482	0.91	N.S.
M*R*E	5	991.5466	0.93	N.S.
Error	95	1064.3542		
TOTAL	137			

¹N.S. = No significativo ($P > 0.05$)

Las concentraciones por muestreo estuvieron dentro de lo reportado en la literatura (Cuadro 15). Las concentraciones sanguíneas de Se responden altamente a la dieta (Georgievskii, 1982; Keen y Graham, 1989; Whelan et al., 1994). Underwood (1981) señala que el Se está en los forrajes ligado a proteínas como selenometionina y en menor cantidad como selenocisteína y estas formas son bien utilizadas por los rumiantes. Aun cuando este elemento no fue detectado en los forrajes estudiados, se tiene conocimiento de que los suelos de las praderas donde pastorearon los animales poseía Se (Cuadro 1). Millar (1983) menciona que el Se presenta una muy buena relación suelo-planta-animal. De modo que se pueden predecir deficiencias de Se en los animales al partir del contenido mineral en el suelo. Ammerman (1978), contrariamente afirma que las formas en que se encuentra el Se en suelo son no disponibles para las plantas. Sin embargo, el suelo en este estudio pudo constituir una fuente importante del mineral. Georgievskii (1982) señala que el suelo puede constituir hasta 10-14% de la MS de la dieta; así, el consumo anual de un ovino es de aproximadamente 22 kg. Towers y Clark (1983) incrementan este consumo hasta 75 kg al año.

Cuadro 29. Concentración media de Se en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n= 23).

MUESTREO ¹	Media (ppb)	EEM ²
0	73.60	7.29
1	60.43	5.69
2	76.20	5.41
3	59.40	9.99
4	57.08	9.08
5	41.03	6.15

¹Muestreo P = 0.0073

²EEM= Error estándar de la media

Para determinar el tipo de comportamiento del efecto de muestreo se realizó la transformación polinomial (Cuadro 30), que reveló un comportamiento de tipo cuadrático (P=0.0417) dependiente de un efecto de raza (P=0.0052). Este comportamiento se aprecia en la figura 9.

Cuadro 30. Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración sanguínea de Se, en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	11695.5652	15.71	N.S. ¹
Raza	1	5517.4490	7.41	N.S.
Edad	1	1249.0344	1.74	N.S.
Raza * Edad	1	1970.0826	2.65	N.S.
Error	19	744.5740		
Efecto cuadrático				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	1757.8229	4.77	0.0417
Raza	1	3674.2527	9.97	0.0052
Edad	1	69.1594	0.19	N.S.
Raza * Edad	1	602.0809	1.63	N.S.
Error	19	368.5170		
Efecto cúbico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	619.7367	0.41	N.S.
Raza	1	1010.5895	0.67	N.S.
Edad	1	5.1979	0.00	N.S.
Raza * Edad	1	119.7467	0.08	N.S.
Error	19	1512.4615		
Efecto cuártico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	893.9823	0.74	N.S.
Raza	1	981.7916	0.82	N.S.
Edad	1	155.8324	0.13	N.S.
Raza * Edad	1	1556.3544	1.29	N.S.
Error	19	1202.6491		

¹N.S. = No significativo (P>0.05)

Los niveles iniciales (M0) de Se en sangre fueron diferentes para las dos razas. Así, la raza Suffolk presentó niveles inferiores que la Rambouillet y esto posiblemente contribuyó a dar el efecto de raza encontrado en la transformación polinomial. Esta diferencia pudiera atribuirse a la suplementación mineral inicial de los animales, porque al parecer dicha suplementación no estaba balanceada adecuadamente para Ca y P. Keen y Graham (1989) afirman que el P afecta la absorción de Se. Por otro lado, el NRC (1985) señala una posible diferencia en el metabolismo del P entre razas de ovinos. En M1 los niveles de Se

disminuyeron debido al cambio de alimentación de pastoreo rotacional con suplementación en pesebre a únicamente pastoreo continuo. En este cambio, el descenso en los niveles sanguíneos del mineral fue al parecer más pronunciado para la raza Suffolk, como se aprecia en la figura 9. En M2 aumentaron los niveles en la raza Suffolk posiblemente por algún mecanismo de compensación, además de haber presentado el mayor consumo de forraje y esto coincide también con la mayor calidad. De M3 a M5 los niveles descienden nuevamente junto con la calidad del forraje. En forma general, el descenso en las concentraciones sanguíneas de Se fue menos drástico para la raza Rambouillet (podría describirse como un descenso lineal), en tanto la raza Suffolk tuvo mayor variación. Esto explicaría el comportamiento cuadrático, pero dependiente de la raza. Es cuadrático para la raza Suffolk, pero lineal para la Rambouillet.

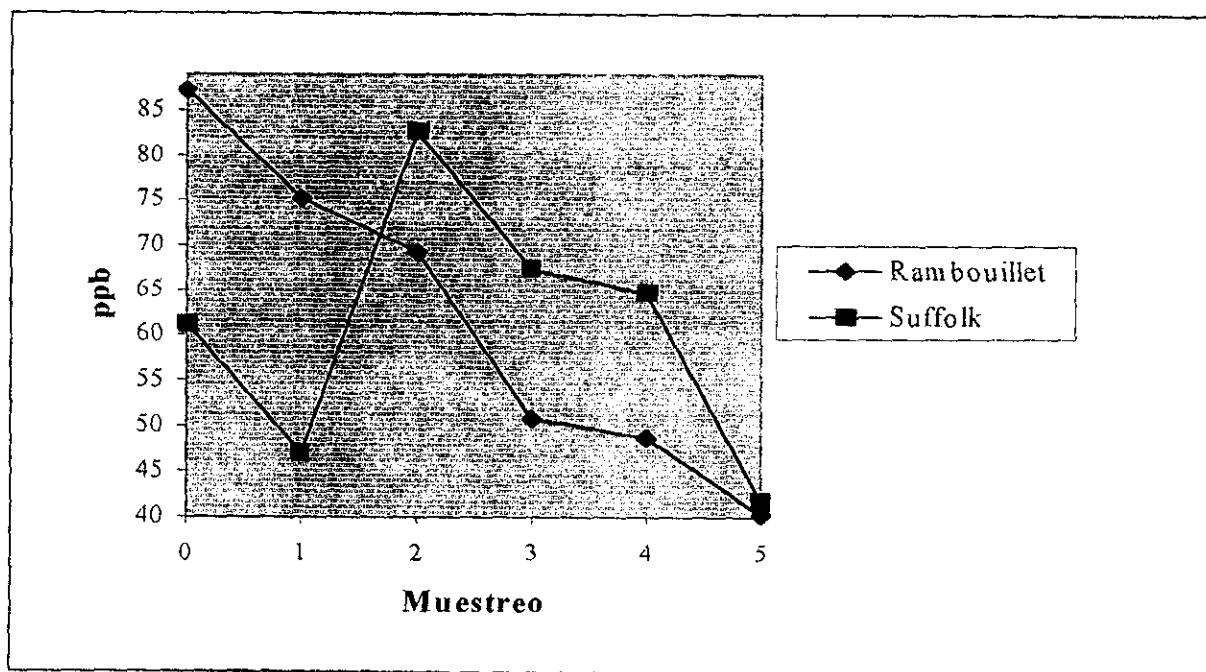


Figura 9. Concentración promedio de Se en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

COBRE EN SANGRE, EN PLASMA Y EN LANA: El cuadro 31 presenta el análisis de varianza para la concentración de Cu en sangre, plasma y lana. La **concentración sanguínea** presentó diferencia debida a la raza (P=0.004). La raza Suffolk tuvo concentraciones más elevadas (0.46 ppm \pm 0.01 EEM) respecto a la Rambouillet (0.35 ppm \pm 0.01 EEM). El análisis de varianza mostró también la interacción muestreo*raza (P=0.01), cuyas medias se presentan en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Concentración media de Cu en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n=23).

RAZA	MUESTREO ¹	Media (ppm)	EEM ²
Rambouillet	0	0.40	0.05
	1	0.30	0.04
	2	0.38	0.04
	3	0.30	0.03
	4	0.31	0.03
	5	0.40	0.03
Suffolk	0	0.43	0.03
	1	0.49	0.06
	2	0.43	0.03
	3	0.49	0.03
	4	0.48	0.03
	5	0.43	0.02

¹Muestreo * Raza P = 0.01

²EEM= Error estándar de la media

Se realizó la transformación polinomial con la finalidad de encontrar el tipo de comportamiento del efecto de muestreo; sin embargo, ningún efecto (lineal, cuadrático, cúbico o cuártico) fue significativo. La figura 10 muestra como se comportaron los niveles sanguíneos de Cu en las dos razas.

Cuadro 31. Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Cu en sangre, plasma y lana de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	SANGRE						PLASMA						LANA					
	G.		F		P		G.		F		P		G.		F		P	
	L.	Medio	Cuadrado	Medio	Cuadrado	Medio	L.	Medio	Cuadrado	Medio	Cuadrado	Medio	L.	Medio	Cuadrado	Medio	L.	Medio
<i>Entre animales</i>																		
Raza (R)	1	0.4497	11.05	0.004	1	0.7440	7.57	0.01	1	5.7229	5.25	0.03						
Edad (E)	1	0.0036	0.09	N.S. ¹	1	0.0244	0.25	N.S.	1	1.0787	0.99	N.S.						
R*E	1	0.0116	0.038	N.S.	1	0.0565	0.57	N.S.	1	2.8759	2.64	N.S.						
Error	19	0.0407			14	0.0983			20									
<i>Dentro de animales</i>																		
Muestreo (M)	5	0.0018	0.15	N.S.	5	0.0482	1.03	N.S.	4	0.8847	1.84	N.S.						
M*R	5	0.0372	3.20	0.01	5	0.0543	1.17	N.S.	4	0.5811	1.21	N.S.						
M*E	5	0.0099	0.85	N.S.	5	0.0113	0.24	N.S.	4	0.0662	0.14	N.S.						
M*R*E	5	0.0096	0.83	N.S.	5	0.0772	1.66	N.S.	4	0.4900	1.02	N.S.						
Error	95	0.0116			70	0.0466			80	0.4804								
TOTAL	137				107				119									

¹N.S. =No significativo (P>0.05)

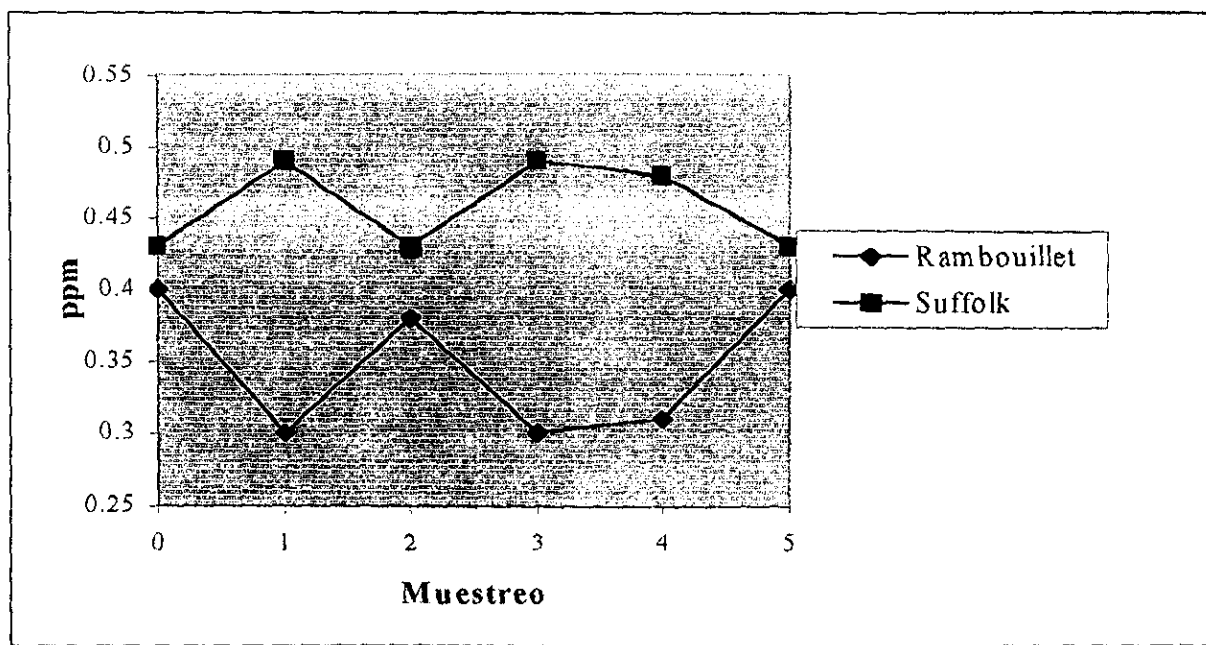


Figura 10. Concentración de Cu en sangre de ovejas , no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Los comportamientos de las dos razas fueron opuestos. Los niveles de Cu se mantuvieron bajos durante toda la fase experimental; sin embargo, la raza Suffolk presentó los niveles más altos. El grupo Suffolk incrementó sus niveles de Cu en M1, en tanto la raza Rambouillet presentó una disminución, lo cual coincidió con el cambio brusco de alimentación. Estos niveles se mantuvieron hasta M4 con cambios en M2 y en M5, muestreos en los cuales regresaron a su nivel inicial y correspondieron a los periodos de pastoreo en la pradera B.

Las concentraciones de **Cu en plasma** fueron más elevadas ($P=0.01$) en la raza Suffolk ($0.51 \text{ ppm} \pm 0.03 \text{ EEM}$) que en la Rambouillet ($0.45 \text{ ppm} \pm 0.03 \text{ EEM}$). Estas concentraciones fueron muy similares a las de sangre total, ya que el Cu se distribuye constantemente entre los hematíes y el plasma (Georgievskii, 1982; Keen y Graham, 1989). Davis y Mertz (1987) afirman que hay diferencias debido a la raza en la concentración plasmática de Cu y menciona que la raza Merino tiene mayor concentración del metal que la

Finnish Landrace. Grace y Clark (1991) citan a Woolliams et al., quienes afirman que hay variación genética en el metabolismo de elementos traza. Por ejemplo, la raza Welsh Mountain es 50% más eficiente que la Scottish Blackface para absorber el metal, lo que se asocia con altos niveles plasmáticos de Cu y mayor retención hepática.

Las concentraciones de **Cu en lana** fueron más altas ($P=0.03$) para la raza Suffolk ($2.16 \text{ ppm} \pm 0.08 \text{ EEM}$) que para la Rambouillet ($1.72 \text{ ppm} \pm 0.12 \text{ EEM}$). Esto no coincide con Aceves (1997) quien reportó concentraciones de Cu en lana similares para estas mismas razas (3.53 ppm). Grace y Clark (1991) mencionan que la raza tiene un efecto pequeño en las concentraciones de minerales traza en la lana y utilizan como ejemplo a la raza Cheviot, que posee un contenido mayor de minerales traza en lana que la Romney Marsh. Davis y Mertz (1987) señalan que la concentración de Cu en lana es muy variable y, además, depende fuertemente de la dieta.

Las concentraciones de Cu en sangre, plasma y lana fueron mayores en la raza Suffolk que en la Rambouillet. El NRC (1985) señala que las razas inglesas (la Suffolk es una de ellas) son más eficientes en absorber el Cu de los alimentos. Por otra parte, las concentraciones de Cu en los tres tipos de muestras fueron inferiores a lo reportado por la literatura (Cuadro 15). La relación entre los niveles de Cu en el suelo y la pastura es muy pobre; por lo tanto, no se pueden predecir los niveles del mineral en el forraje a partir de lo encontrado en el suelo. De hecho en este estudio, a pesar de que las concentraciones de Cu en el suelo y en el forraje fueron las adecuadas, los animales presentaron esta situación de deficiencia sin signología clínica. Underwood (1982) señala que valores consistentemente inferiores a 0.6 ppm en plasma indican una deficiencia del elemento. La mínima concentración de Cu en sangre para realizar la eritropoyesis en ovinos es de $0.1-0.12 \text{ ppm}$. Si estos niveles persisten durante algún tiempo se desarrolla anemia (Coelho y Chaves, 1978). La deficiencia que se presentó pudo estar ocasionada por interferencia con la asimilación del metal. Esto se presenta por excesos en la dieta de Ca, sulfatos (lo cual no sucedió en este trabajo), Mo o Cd (Georgievskii, 1982; Keen, 1989). Davis y Mertz (1987) mencionan que debe existir un balance entre Cu, Mo, sulfatos, Zn y Fe en la dieta para que las concentraciones de Cu en ella puedan mantener las concentraciones del metal en el

plasma y evitar problemas de deficiencia o toxicidad por Cu. Grace (1983) señala que la cantidad de suelo ingerida por el animal en pastoreo disminuye la absorción de Cu; lo que no se sabe es si existe alguna relación con el contenido de Fe en el suelo. Por otra parte, el nivel de proteína o del ión interactuante y sulfatos pueden influir en la absorción o utilización del metal (Davis y Mertz, 1987). Coelho y Chaves (1978) señalan que los forrajes frescos son significativamente menos eficientes que los henos o forrajes deshidratados en incrementar el depósito de Cu en el organismo, aun cuando tengan contenidos equivalentes del elemento. Sarkar et al. (1992) midieron el efecto de las concentraciones de algunos microminerales en el suelo y el forraje de lugares tropicales en la incidencia de anemia nutricional en ovinos en pastoreo y, al igual que en esta investigación, encontraron niveles adecuados de Fe y Cu en el suelo y forraje estudiados, pero deficientes en el suero de los animales atribuyendo esta deficiencia a una hipocobaltosis. Ladefoged y Stürup (1995), señalan que la signología clínica por deficiencia de Cu puede tardar periodos muy largos en aparecer (170 días) y puede ser más severa cuando el Mo se encuentra en exceso. Además, la disminución en la concentración sanguínea y hepática de Cu preceden a la manifestación clínica de la deficiencia por 100 días o más (Grace, 1983; Ladefoged y Stürup, 1995). Millar et al. (1986) mencionan que tanto el suero como la sangre completa son indicadores pobres del estado de Cu en el ovino, ya que los niveles se incrementan al momento de la crisis hemolítica (intoxicación por Cu) o disminuyen cuando las reservas hepáticas se han agotado (deficiencia severa de Cu). El consumo de Cu estuvo relacionado con el consumo de forraje ($r = 0.62, P=0.0001$).

HIERRO EN SANGRE Y EN PLASMA: El Cuadro 33 presenta el análisis de varianza para la concentración sanguínea y plasmática de Fe. La **concentración sanguínea de Fe** fue similar para las dos razas y edades ($342.37 \text{ ppm} \pm 5.82 \text{ EEM}$).

Cuadro 33. Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Fe en sangre y plasma de ovejas no gestantes
Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	SANGRE				PLASMA			
	G. L.	Cuadrado Medio	F	P	G. L.	Cuadrado Medio	F	P
<i>Entre animales</i>								
Raza (R)	1	15624.134	3.11	N.S. ¹	1	27.9162	13.30	0.002
Edad (E)	1	3107.872	0.62	N.S.	1	30.5265	14.55	0.002
R*E	1	3977.515	0.79	N.S.	1	18.7804	8.95	0.01
Error	19	5028.987			15	2.0985		
<i>Dentro de animales</i>								
Muestreo (M)	5	4961.0483	3.24	0.02	5	19.7838	9.58	0.001
M*R	5	1166.0880	0.76	N.S.	5	10.8103	5.23	0.01
M*E	5	4859.0228	3.17	0.02	5	15.6842	7.59	0.003
M*R*E	5	1893.8641	1.24	N.S.	5	11.7916	5.71	0.01
Error	95	1530.8616			75			
TOTAL	137				113			

¹N.S.=No significativo (P>0.05)

En el análisis de varianza se encontró un efecto de muestreo ($P=0.02$) y la interacción muestreo*edad ($P=0.02$), cuyas medias se presentan en el Cuadro 34. Estas concentraciones se encontraron dentro de los parámetros normales (Cuadro 15). La transformación polinomial del efecto muestreo (Cuadro 35) indicó un comportamiento de tipo cuártico ($P=0.0244$, figura 11).

Cuadro 34. Concentración media de Fe en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n=23).

EDAD	MUESTREO ¹	Media (ppm)	EEM ²
Adultas	0	317.84	20.11
	1	334.54	6.58
	2	325.57	7.59
	3	296.25	17.69
	4	354.77	25.10
	5	349.66	13.18
Corderas	0	358.33	15.27
	1	354.37	9.64
	2	304.48	10.37
	3	340.21	13.36
	4	340.00	7.39
	5	341.25	8.86

¹Muestreo * Edad $P = 0.02$

²EEM= Error estándar de la media

En las adultas, el Fe sanguíneo aumentó hacia el final del experimento, pero presentó descenso en M2, M3 y al final en M5. Las corderas mostraron un descenso durante todo el período experimental, el cual al parecer fue más pronunciado en M2, como se aprecia en la figura 11. Morris (1987) señala que la concentración de Hb varía con factores del animal (edad, sexo, estado fisiológico y de salud) y del medio ambiente (altitud, nutrición). Underwood (1981) y Georgievskii (1982) mencionan que los animales jóvenes y/o gestantes necesitan mayor cantidad de Fe, además de tener mejor asimilación de él que los animales adultos. Por otra parte, el metabolismo de Fe está controlado básicamente por

la absorción del mismo (Georgievskii, 1982; Morris, 1987) y varios metales bivalentes (Cu, Mn, Pb, Cd) compiten por los sitios de absorción.

Debido a la altitud en que se encontraban los animales, se esperaban mayores concentraciones de Fe en sangre total. Sin embargo, esto no fue así, posiblemente debido a la deficiencia de Cu encontrada, ya que al disminuir las concentraciones plasmáticas de Cu, disminuye la ceruloplasmina, que es la enzima catalizadora de la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} , paso indispensable para que se lleve a cabo la incorporación del Fe del sistema retículo endotelial a la transferrina plasmática.

Cuadro 35. Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración sanguínea de Fe en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	786.0012	1.02	N.S. ¹
Raza	1	779.3402	1.01	N.S.
Edad	1	6572.5765	8.53	N.S.
Raza * Edad	1	958.0498	1.24	N.S.
Error	19	770.4836		
Efecto cuadrático				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	10810.7823	7.32	0.0140
Raza	1	4646.6666	3.15	N.S.
Edad	1	176.5053	0.12	N.S.
Raza * Edad	1	37.3684	0.03	N.S.
Error	19	1476.5274		
Efecto cúbico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	2.6072	0.00	N.S.
Raza	1	346.5363	0.20	N.S.
Edad	1	2220.6104	1.27	N.S.
Raza * Edad	1	699.4822	0.40	N.S.
Error	19	1748.3407		
Efecto cuártico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	13190.2998	8.98	0.0244
Raza	1	19.8172	0.01	N.S.
Edad	1	886.1756	0.40	N.S.
Raza * Edad	1	772.4108	0.35	N.S.
Error	19	2205.4042		

¹N.S. = No significativo (P > 0.05)

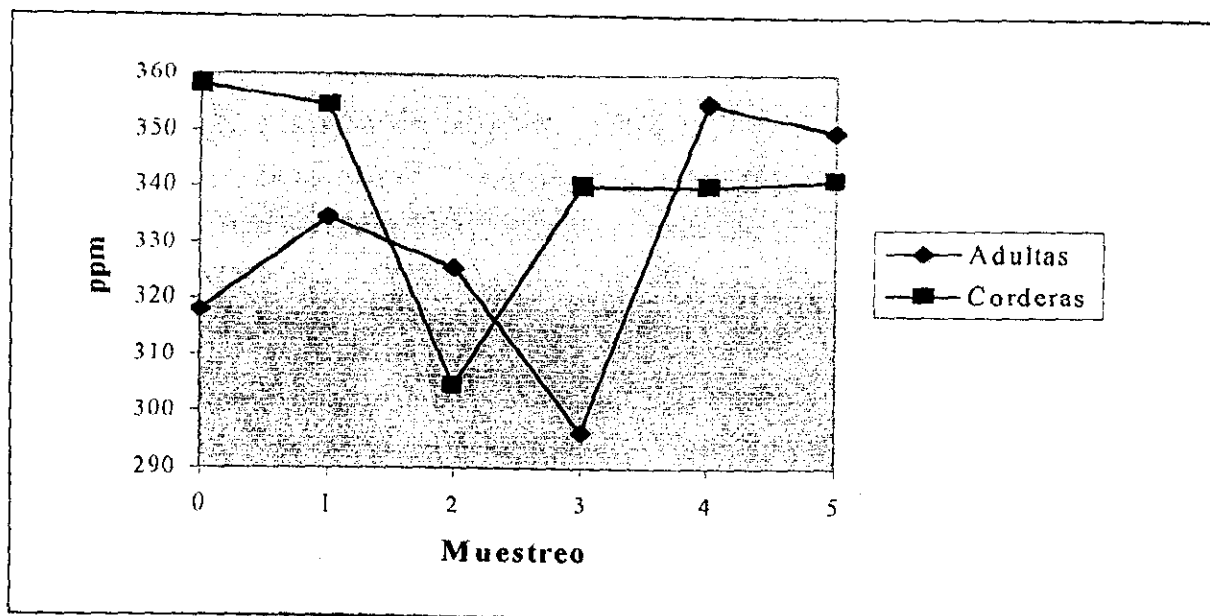


Figura 11. Concentración de Fe en sangre de ovejas , no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

En la **concentración plasmática de Fe** (Cuadro 33) se encontró un efecto de raza (Suffolk = $2.28 \text{ ppm} \pm 0.1 \text{ EEM}$, Rambouillet = $2.51 \text{ ppm} \pm 0.15 \text{ EEM}$; $P=0.002$); un efecto de edad (corderas = $2.53 \text{ ppm} \pm 0.12 \text{ EEM}$, adultas = $2.24 \text{ ppm} \pm 0.12 \text{ EEM}$; $P = 0.002$) y el efecto de la interacción raza*edad ($P=0.01$). El análisis de varianza (Cuadro 33) mostró también un efecto de muestreo ($P=0.001$) y las dobles interacciones, muestreo*raza ($P=0.01$) y muestreo*edad ($P=0.003$), así como la triple interacción muestreo*raza*edad ($P=0.01$). La triple interacción se explica más adelante y sus medias se muestran en el Cuadro 36. Estas concentraciones estuvieron dentro de lo reportado por la literatura como valores normales (Cuadro 15).

Smith (1989) menciona que el Fe sérico es muy variable en el individuo, de tal modo que disminuye su concentración en casos de deficiencia, reacciones de la fase aguda, enfermedad renal, inflamación crónica, y se incrementa por hemólisis, anemia refractaria, exceso de Fe, enfermedad hepática, entre otros. Por este motivo ocasionalmente se puede

llegar a un diagnóstico falso positivo de deficiencia de Fe. Menciona, además, que la medición directa del Fe sérico por absorción atómica puede dar resultados no confiables, ya que la sensibilidad es limitada, hay una matriz de interferencias y el Fe de la Hb no puede distinguirse del de la ferritina sérica. Es importante señalar nuevamente que en esta investigación existieron problemas de hemólisis; por ello fue necesario repetir el sangrado de algunos animales al regreso del pastoreo para obtener el plasma. Esto constituyó una fuente de variación para la cuantificación de los minerales medidos en él.

Cuadro 36. Concentración media de Fe en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n=19).

RAZA	EDAD	MUESTREO ¹	Media (ppm)	EEM ²
Rambouillet	adultas	0	1.92	0.23
		1	2.37	0.68
		2	3.28	0.62
		3	2.24	0.21
		4	2.11	0.33
	5	2.17	0.22	
	corderas	0	2.60	0.48
		1	3.11	1.13
		2	4.10	0.60
		3	2.70	0.74
4		2.43	0.17	
Suffolk	adultas	0	1.66	0.17
		1	2.37	0.44
		2	2.69	0.58
		3	2.02	0.37
		4	2.05	0.34
	5	2.11	0.23	
	corderas	0	2.31	0.30
		1	3.16	0.25
		2	2.56	0.30
		3	2.18	0.23
4		1.86	0.23	
5	2.32	0.34		

¹Muestreo*Raza*Edad P = 0.01

²EEM= Error estándar de la media

La transformación polinomial (Cuadro 37) definió el comportamiento del muestreo, como de tipo cuártico ($P=0.0432$), dependiente de un efecto raza*edad ($P=0.0329$). La figura 12 muestra el comportamiento cuártico.

Cuadro 37. Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración plasmática de Fe en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	16.9483	11.10	N.S. ¹
Raza	1	10.6281	6.96	N.S.
Edad	1	17.0906	11.20	N.S.
Raza * Edad	1	8.8771	5.82	N.S.
Error	15	1.5264		
Efecto cuadrático				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	8.7874	15.62	N.S.
Raza	1	3.3679	5.99	N.S.
Edad	1	0.4920	0.87	N.S.
Raza * Edad	1	2.1524	3.83	N.S.
Error	15	0.5625		
Efecto cúbico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	51.1123	18.41	N.S.
Raza	1	20.5047	7.39	N.S.
Edad	1	25.3180	9.12	N.S.
Raza * Edad	1	20.4516	7.37	N.S.
Error	15	2.7759		
Efecto cuártico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	20.0130	4.88	0.0432
Raza	1	16.7230	4.07	N.S.
Edad	1	25.8407	6.30	N.S.
Raza * Edad	1	22.6447	5.52	0.0329
Error	15	4.1039		

¹N.S. = No significativo ($P > 0.05$)

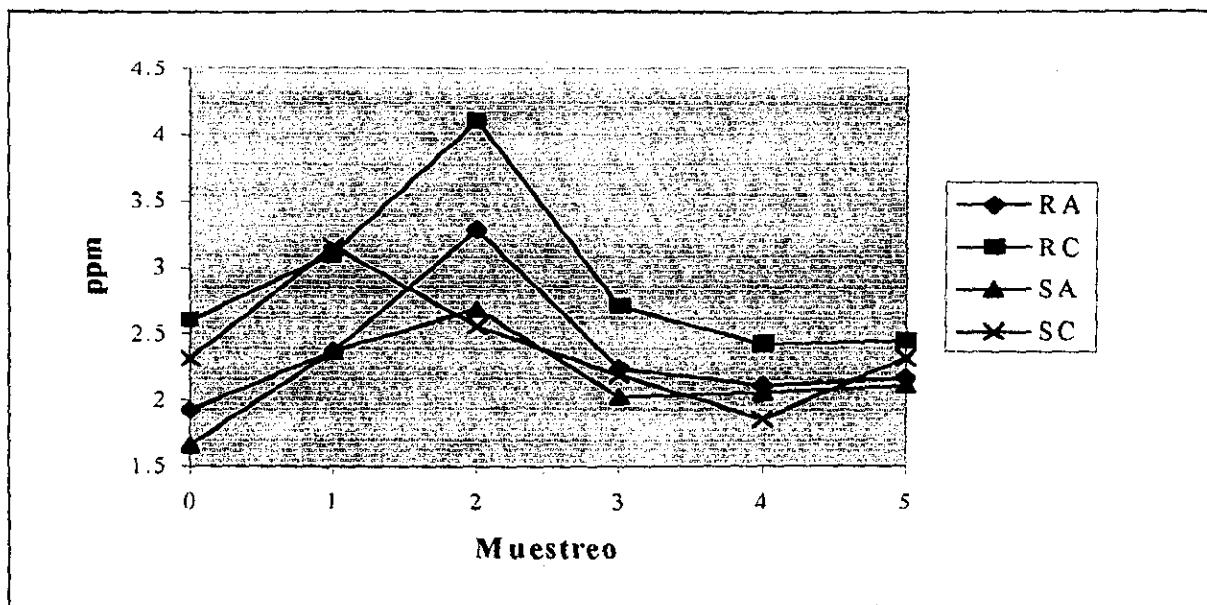


Figura 12. Concentración de Fe en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet (R) y Suffolk (S), adultas (A) y corderas (C), mantenidas en pastoreo.

Las ovejas Rambouillet presentaron comportamientos muy semejantes. De M0 a M2 presentaron incremento en el Fe plasmático. De M2 a M3 ambos grupos disminuyeron su concentración y de M3 a M5 lograron mantener sus niveles. Esto posiblemente se haya debido a la rusticidad de la raza que las hace aprovechar mejor los nutrientes de los alimentos. Las borregas Suffolk se comportaron de manera diferente entre las dos edades y con respecto a la otra raza. El grupo SA presentó una elevación en sus concentraciones plasmáticas de Fe de M0 a M2. De M2 a M3 hay un descenso y de M3 a M5, un ligero aumento, alcanzando niveles finales superiores a los iniciales. El grupo SC mostró en M1 un aumento en el Fe plasmático. Hasta M4 se presentó un descenso gradual y de M4 a M5 volvieron a su nivel inicial. En general, las hembras Rambouillet presentaron concentraciones de Fe más altas que las Suffolk y las corderas, niveles más altos que las adultas. Esto posiblemente se debió por un lado a la rusticidad de la raza Rambouillet y por otro, a que los animales jóvenes absorben con mayor eficiencia el metal. Ghosal y Mathur (1992) encontraron que factores como la edad del animal, el estado nutricional, el parasitismo y estado reproductivo alteran los niveles séricos de Fe.

El consumo de Fe tuvo una asociación de $r = 0.89$ con el consumo de forraje ($P=0.0001$).

ZINC EN SANGRE, EN PLASMA Y EN LANA: El Cuadro 38 presenta el análisis de varianza para la concentración de Zn en sangre total, plasma y lana. La **concentración sanguínea de Zn** fue similar para las dos razas y las dos edades ($2.15 \text{ ppm} \pm 0.13 \text{ EEM}$) Se encontró también un efecto de muestreo ($P=0.03$) y la interacción muestreo*raza ($P=0.04$), cuyas medias se presentan en el Cuadro 39. Aceves (1997) midió en ovejas lactantes de las razas Rambouillet y Suffolk el efecto tanto de la raza como del tipo de parto en el perfil mineral y encontró un efecto de raza (la concentración fue mayor para la raza Rambouillet 6.2 vs. 5.45 ppm de la raza Suffolk) y un efecto del muestreo ($P = 0.0001$).

Las medias presentadas en el Cuadro 39 están por debajo de los parámetros normales (Cuadro 15); es decir, los animales presentaron una deficiencia de Zn. Como se mencionó en la discusión referente al forraje, el consumo del metal (Cuadro 4) pudo ser inferior a los requerimientos señalados (Cuadro 5). Georgievskii (1982) menciona que la absorción de Zn se afecta por P, Cd, Cu y Ca entre otros. El mismo autor señala que se ha producido deficiencia experimental en pasturas cuyo contenido de Zn osciló entre 18-36 ppm, siendo los machos los individuos mayormente afectados.

El forraje estudiado en este trabajo tuvo en promedio 36.52 ppm de Zn y el consumo de Zn estuvo asociado al consumo de forraje ($r = 0.9$; $P=0.0001$). Ghosal y Mathur (1992) señalan a la edad, estado nutricional, parasitismo y estado reproductivo como factores que afectan la concentración de Zn en sangre.

Cuadro 38. Análisis de varianza de mediciones repetidas para la concentración de Zn en sangre, plasma y lana de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Fuente de variación	SANGRE				PLASMA				LANA			
	G. L.	Cuadrado	F	P	G. L.	Cuadrado	F	P	G. L.	Cuadrado	F	P
		Medio				Medio				Medio		
<i>Entre animales</i>												
Raza (R)	1	0.0332	0.02	N.S. ¹	1	0.0410	1.43	N.S.	1	1899.4538	10.16	0.004
Edad (E)	1	2.5901	1.88	N.S.	1	0.0247	0.86	N.S.	1	536.3402	2.87	N.S.
R*E	1	0.5946	0.43	N.S.	1	0.0001	0.00	N.S.	1	481.5417	2.57	N.S.
Error	19	1.3795			15	0.0287			20	187.0073		
<i>Dentro de animales</i>												
Muestreo (M)	5	3.3584	3.44	0.03	5	0.0387	3.80	0.004	4	558.4103	2.24	N.S.
M*R	5	3.0666	3.14	0.04	5	0.0030	0.29	N.S.	4	184.3082	0.74	N.S.
M*E	5	1.4295	1.47	N.S.	5	0.0035	0.35	N.S.	4	51.0508	0.21	N.S.
M*R*E	5	1.3966	1.43	N.S.	5	0.0085	0.83	N.S.	4	132.0892	0.53	N.S.
Error	95	0.9753			75	0.0102			80	248.9727		
TOTAL	137				113				119			

¹N.S. = No significativo (P>0.05)

La transformación polinomial (Cuadro 40) definió el comportamiento del efecto de muestreo como de tipo cuadrático ($P=0.0174$) y se aprecia en la figura 13.

La raza Suffolk presentó una disminución variable de los niveles sanguíneos de Zn durante toda la fase de campo, lo que se acentuó en M2. La raza Rambouillet presentó un comportamiento cuadrático. Sus niveles disminuyeron en M1, manteniéndose constantes hasta M4 y aumentaron en M5. Se conoce que hay variaciones en las concentraciones de Zn sanguíneo por efecto de la raza (Georgievskii, 1982). Asimismo, Grace y Clark (1991) señalan la existencia de diferencias entre razas en el metabolismo de microminerales.

Cuadro 39. Concentración media de Zn en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n=22).

RAZA	MUESTREO ¹	Media (ppm)	EEM ²
Rambouillet	0	2.31	0.12
	1	1.97	0.13
	2	2.02	0.23
	3	1.87	0.23
	4	2.08	0.14
	5	2.84	0.86
Suffolk	0	3.43	0.27
	1	2.08	0.29
	2	1.49	0.09
	3	2.18	0.23
	4	1.91	0.18
	5	1.69	0.11

¹Muestreo * Raza $P = 0.04$

²EEM= Error estándar de la media

Cuadro 40. Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración sanguínea de Zn en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal					
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P	
Media	1	3.0336	1.81	N.S. ¹	
Raza	1	9.7128	5.79	N.S.	
Edad	1	2.6420	1.58	N.S.	
Raza * Edad	1	0.5377	0.32	N.S.	
Error	18	1.6765			
Efecto cuadrático					
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P	
Media	1	10.7883	6.86	0.0174	
Raza	1	0.1045	0.07	N.S.	
Edad	1	0.0000	0.00	N.S.	
Raza * Edad	1	2.9750	1.89	N.S.	
Error	18	1.5721			
Efecto cúbico					
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P	
Media	1	2.3035	2.54	N.S.	
Raza	1	4.4534	4.91	N.S.	
Edad	1	4.2507	4.69	N.S.	
Raza * Edad	1	0.6371	0.70	N.S.	
Error	18	0.9071			
Efecto cuártico					
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P	
Media	1	0.3504	1.16	N.S.	
Raza	1	0.0030	0.01	N.S.	
Edad	1	0.0845	0.28	N.S.	
Raza * Edad	1	2.8012	9.24	0.0070	
Error	18	0.3031			

¹N.S. = No significativo (P > 0,05)

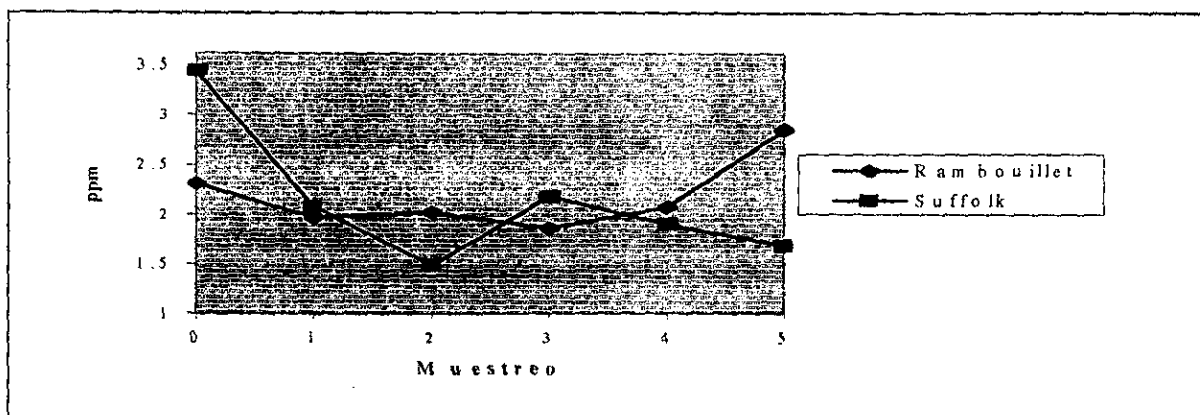


Figura 13. Concentración de Zn en sangre de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

La **concentración plasmática de Zn** fue similar para las dos razas y edades (0.88 ppm \pm 0.015 EEM) y el análisis de varianza mostró un efecto de muestreo ($P=0.004$). Las medias correspondientes se presentan en el Cuadro 41.

A diferencia de los valores encontrados en sangre completa, las concentraciones en plasma estuvieron considerados dentro de los parámetros normales. Georgievskii (1982) señala que las concentraciones plasmáticas de Zn presentan fluctuaciones debidas a la edad y a la especie. Millar et al. (1986) mencionan que los niveles plasmáticos de Zn son ampliamente usados para medir el estado de este metal en el animal, pero es necesario tomar en cuenta, además del consumo del mineral, otros factores que alteran dichos niveles, como son enfermedades y condiciones de estrés. A esto se suma el hecho de que 50-60% del total de Zn corporal se encuentra en el músculo esquelético y el catabolismo de éste aumenta por la degradación de proteína muscular en caso de condiciones adversas en la nutrición (Nockels et al. 1993), lo que contribuye a elevar los niveles séricos del metal.

La transformación polinomial (Cuadro 42) definió el comportamiento del efecto de muestreo como lineal ($P=0.0005$), el cual se aprecia en la figura 13. En M0 los niveles fueron los más altos de todo el periodo experimental, debido a la suplementación inicial. En M1 descendieron, lo que coincidió con el cambio de alimentación; en M2 los niveles aumentaron, lo que coincidió con el valor más alto de digestibilidad del forraje y con la concentración más alta de Zn. Durante los siguientes muestreos los niveles plasmáticos de Zn siguieron disminuyendo junto con la calidad del forraje.

Cuadro 41. Concentración media de Zn en plasma, de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo (n=19).

MUESTREO¹	Media (ppm)	EEM²
0	0.97	0.03
1	0.87	0.02
2	0.91	0.03
3	0.88	0.02
4	0.88	0.02
5	0.82	0.02

¹Muestreo $P = 0.004$

²EEM= Error estándar de la media

Cuadro 42. Transformación polinomial del efecto de muestreo en la concentración plasmática de Zn en ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

Efecto lineal				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.1315	19.33	0.0005
Raza	1	0.0008	0.12	N.S. ¹
Edad	1	0.0114	1.69	N.S.
Raza * Edad	1	0.0003	0.05	N.S.
Error	15	0.0068		
Efecto cuadrático				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0004	0.05	N.S.
Raza	1	0.0000	0.00	N.S.
Edad	1	0.0027	0.33	N.S.
Raza * Edad	1	0.0077	0.94	N.S.
Error	15	0.0081		
Efecto cúbico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0352	4.21	N.S.
Raza	1	0.0135	1.61	N.S.
Edad	1	0.0000	0.01	N.S.
Raza * Edad	1	0.0008	0.10	N.S.
Error	15	0.0083		
Efecto cuártico				
Fuente de variación	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
Media	1	0.0091	0.80	N.S.
Raza	1	0.0002	0.02	N.S.
Edad	1	0.0027	0.24	N.S.
Raza * Edad	1	0.0093	0.82	N.S.
Error	15	0.0114		

¹N.S. = No significativo (P > 0.05)

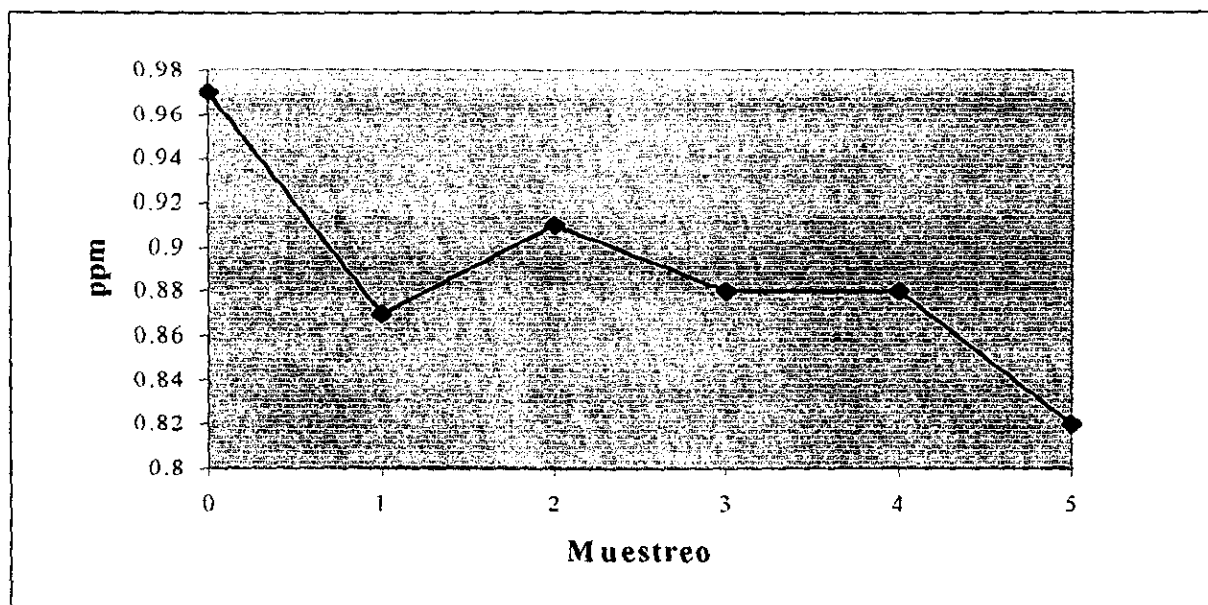


Figura 14. Concentración promedio de Zn en plasma de ovejas no gestantes Rambouillet y Suffolk, adultas y corderas, mantenidas en pastoreo.

La **concentración de Zn en lana** presentó un efecto de raza ($P=0.004$), encontrando la mayor concentración en la raza Suffolk, $146.63 \text{ ppm} \pm 3.24 \text{ EEM}$ vs. $141.34 \text{ ppm} \pm 1.46 \text{ EEM}$ de la raza Rambouillet. Esto coincide con lo reportado por Aceves (1997), quien encontró mayor contenido de Zn en la lana de ovejas Suffolk lactantes respecto a borregas Rambouillet en las mismas condiciones. Se conoce que existe un efecto de raza en la concentración de microminerales en lana (Grace y Clark, 1991). Aún cuando se detectó una deficiencia de Zn en sangre, las concentraciones del metal en lana estuvieron dentro de los parámetros normales. McDowell et al. (1978) y Grace y Clark (1991) mencionan que son necesarias deficiencias severas o consumos muy elevadas de los minerales traza para alterar la composición de la lana.

CONCLUSIONES.

- Bajo las condiciones en que se realizó este estudio se confirmó que existen diferencias en las concentraciones de algunos elementos minerales, en sangre, plasma y lana de ovejas. En sangre y plasma, la raza Suffolk (productora de carne) tiene concentraciones más elevadas de **Cu** que la raza Rambouillet (productora de lana fina). En lana, la raza Suffolk tiene también las concentraciones más elevadas de **S**, **Cu** y **Zn**. No hay diferencias en las concentraciones de **Ca**, **P**, **Mg**, **Zn**, **Fe** y **Se** en sangre. Así como tampoco hay diferencias en las concentraciones plasmáticas de **Ca**, **P**, **Mg** y **Zn**, ni entre la raza Rambouillet y Suffolk, ni entre adultas y corderas de la misma raza. La determinación de las concentraciones minerales en corderas menores de 16 meses de edad probablemente permita detectar el efecto de la edad en el perfil mineral.

- Los mecanismos homeostáticos son capaces de mantener las concentraciones sanguíneas de **Ca**, **P** y **Mg** dentro de rangos estrechos de variación, de lo contrario se pondría en riesgo la vida del animal. En México se han realizado pocos estudios sobre las concentraciones de diferentes minerales (sobre todo microminerales) en ovinos, por lo que no existen parámetros nacionales con los cuales comparar para diagnosticar la presencia de deficiencias subclínicas. De modo que pueden existir deficiencias de este tipo de **Cu** y **Zn** que, si bien no ponen en riesgo la vida del animal, sí pueden afectar su productividad.

Hay interacciones entre algunos minerales como el **Cu** y **S**. de tal manera que las concentraciones en muestras de diferente origen (sangre, plasma, lana) de uno de los minerales afectan las concentraciones del otro mineral en otro tejido.

- La cantidad de forraje consumido por animal es diferente. Así, las razas pesadas (Suffolk, productora de carne) y los animales adultos tienen los mayores consumos voluntarios.

- La cantidad de forraje consumido por kg P.V.^{0.75} es diferente. Las razas pequeñas (Rambouillet, productora de lana) y los animales en crecimiento tienen consumos voluntarios semejantes a los adultos de las razas pesadas, por lo que la determinación del consumo voluntario por kg P.V.^{0.75} predice mejor el consumo de alimento de los animales de acuerdo a su metabolismo. Por otra parte, la alimentación basada en el pastoreo aun en

épocas de rápido crecimiento (época de lluvias), no siempre es suficiente para satisfacer las necesidades de los animales y mantener su peso. Sin embargo, la raza Rambouillet, en comparación con la Suffolk, es rústica, de modo que pierde peso de manera menos drástica o incluso lo gana. El potencial de la raza Rambouillet no se ha aprovechado totalmente, pues al producir en condiciones adversas poco se ha hecho por procurarle mejores condiciones.

RECOMENDACIONES

Las concentraciones minerales en el plasma se alteran considerablemente dependiendo de si la muestra se toma del animal en ayunas o después de haber ingerido alimento. Además, si la muestra se hemoliza se ven alterados los resultados de las determinaciones de los minerales. Otro factor que altera las concentraciones minerales, por ejemplo del **Mg**, es el estrés. En el estudio de minerales se recomienda sangrar al animal en ayunas a la misma hora y procurar que se realice previamente a cualquier otro tipo de manejo (trasquila, pesaje, etc.). En el caso de recolectar plasma, hay que extremar precauciones para evitar en lo posible la hemólisis de la muestra.

Sería conveniente tratar de establecer promedios nacionales de las concentraciones minerales, sobre todo de microminerales, e incluso, conociendo que la raza tiene efecto sobre dichas concentraciones, por raza. De este modo se tendrían mejores aproximaciones para diagnosticar deficiencias subclínicas.

Al suplementar sales minerales hay que considerar la existencia de interacciones entre ellos para no caer en deficiencias o excesos de los mismos debido a estas interacciones.

Es necesario suplementar a animales (incluso en etapas de mantenimiento) en pastoreo con sales minerales para satisfacer los requerimientos tanto de macro como de microminerales, ya que el forraje aun en épocas de rápido crecimiento, no siempre satisface dichos requerimientos, a veces porque el contenido del mineral no es adecuado en el forraje, otras por que, si bien el contenido es el apropiado, no siempre está disponible para el animal o existen interacciones entre los minerales. La relación suelo-planta-animal debe tomarse en cuenta para algunos manejos de las praderas como la fertilización, ya que en algunos

minerales esta relación es buena; así, al aumentar su contenido en el suelo también aumentan sus concentraciones en el forraje y en el animal.

Debido a que la mayor producción de ovinos en México se hace en condiciones de pastoreo es recomendable continuar con este tipo de estudios para determinar cómo varían las concentraciones minerales en el suelo, y las plantas y que impacto tienen estas variaciones en las concentraciones minerales de los animales en diferentes etapas de su vida. De esta manera, podrán establecerse prácticas de suplementación más adecuadas durante etapas críticas.

IV. BIBLIOGRAFIA.

1. Dearriba CJ. Fisiología y bioquímica de la digestión en el rumiante. Cuba:Ed. Oriente, 1988.
2. Cheeke PR. Applied animal nutrition. Feeds and feeding. U.S.A.: McMillian Publishing Company, 1991.
3. Arbiza A, de Lucas TJ. Estado actual de la producción ovina en México. Memorias del Seminario Internacional: Avances en la Producción Ovina; 1992 septiembre; Montecillo (México), México (Montecillo) Colegio de Postgraduados. 1992:5-43.
4. National Sheep Association. British sheep. U.K.:N.S.A., 1979.
5. Botkin MP, Field RA, Jonhson CL. Sheep and wool. Science production and management. New Jersey:Prentice Hall, 1988.
6. Scott G. The sheepman's production handbook. 4th. ed. U.S.A.:Abegg Printing, 1991.
7. González MS. Crecimiento compensatorio en borregos. Memorias del Seminario Internacional: Avances en la Producción Ovina; 1992 septiembre; Montecillo (México). México. México (Montecillo) Colegio de Postgraduados. 1992:44-72
8. Allison CD. Factors affecting forage intake by range ruminants: A review. J Range Manage 1985; 38:305-311.
9. Van Houtert MFJ. Determinación de la cantidad y calidad del alimento consumido por rumiantes en pastoreo. Memorias del Curso de Actualización: Aspectos Nutricionales del Ganado de Doble Propósito en el Trópico; 1996 octubre 7-9; Tlapacoyan (Veracruz) México. México (DF): División de Educación Continua F.M.V.Z. U.N.A.M. 1996:67-75.
10. Doyle PT, Casson T, Cransberg L, Rowe JB. Faecal output of grazing sheep measured by total collection or using chromium sesquioxide. Small Rumin Res 1994; 13:231-236.
11. Luginbuhl JM, Pond KR, Burns JC, Fisher DS. Evaluation of the Captec Controlled Release chromic oxide capsule for fecal output determination in sheep. J Anim Sci 1994; 72:1375-1380.
12. Kotb AR, Luckey. Markers in nutrition. Nutr Abstr Rev 1972; 52: 813.

13. Buntinx DS. Evaluation of the Captec Chrome controlled release device for the estimation of dry matter intake of sheep grazing Tifon 44 Bermudagrass. (Master Science degree) U.S.A. North Carolina State University:1990.
14. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant U.S.A.:Comstock Publishing Associates, 1987.
15. Pond KR, Burns JC, Fisher PS. External markers use and methodology in grazing studies. Proc. grazing livestock Nutr. Cart. 49: Jackson, W. Y. 1987.
16. Abdelrahman MM, Kincaid RL. Effects of concurrent deficiencies of phosphorus and copper in growing lambs on the concentration of minerals in tissues. Small Rumin Res 1992; 9:229-241.
17. Spears JW. Minerals in forages. In: Fahey GC, editor. Forage quality, evaluation and utilization. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin, 1994.
18. Georgievskii VI, Annenkov BN, Samokhin VT. Mineral nutrition of animals. Great Britain:Butterworths, 1982.
19. García-Bojalil CM. Interrelación suelo-planta-animal. IV Curso Producción e Investigación en Pastos Tropicales; 1990; Venezuela: Sociedad Venezolana de Pastizales y Forrajes, 1990:69-88
20. Grace ND, Clark RG. Trace element requirements, diagnosis and prevention of deficiencies in sheep and cattle. In: Tsuda T, Kawashima SR, editors. Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants: Proceedings of the seventh international Symposium on Ruminant Physiology. San Diego California: Academic Press Inc, 1991:321-346.
21. I.N.R.A. Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos. España:Ediciones Mundi Prensa, 1990.
22. Church DC. Livestock feeds and feeding. 3rd ed. New Jersey:Prentice Hall, 1991.
23. Underwood EJ. The mineral nutrition of livestock. 2nd ed. U.K.:Commonwealth Agricultural Bureaux, 1981.
24. Church DC, Pond WG. Basic animal nutrition and feeding. 3rd ed. U.S.A.:John Wiley and sons, 1988.

25. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD. *Nutrición animal*. 3era ed. España: Acribia, 1988.
26. Naylor JM. The major minerals (Macrominerals). In: Naylor JM, Ralston S.L, editors. *Large animal clinical nutrition*. U.S.A.: Mosby, 1991:35-54.
27. National Research Council. *Nutrient requirements of sheep*. 6th ed. Washington: National Academy Press, 1985.
28. Keen CL, Graham TW. Trace elements. In: Jiro J. Kaneko, editor. *Clinical biochemistry of domestic animals*. U.S.A.: Academic Press Limited, 1989:753-795.
29. Thompson JK, Fowler VR. The evaluation of minerals in the diets of farm animals. In: Wiseman J, Cole DJA, editors. *Feedstuff evaluation*. Cambridge: Butterworths, 1990.
30. Ortiz VB, Ortiz SC. *Edafología*. México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1990.
31. National Plant Food Institute. *Manual de fertilizantes*. 2da. ed. México: LIMUSA, 1974.
32. Yano F, Yano H, Breves G. Calcium and phosphorus metabolism in ruminants. In Tsuda T, Kawashima SR, editors. *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants: Proceedings of the seventh International Symposium on Ruminant Physiology*. San Diego California: Academic Press Inc, 1991:277-295.
33. Larvor P. The pools of cellular nutrients: minerals. In: PM RISS, editor. *World Science A3. Dynamic biochemistry of animal production*. Netherlands: Elsevier, 1983:281-317.
34. Capen CC, Rosol TJ. Calcium regulating hormones and diseases of abnormal metabolism. In: Jiro J. Kaneko, editor. *Clinical biochemistry of domestic animals*. U.S.A.: Academic Press Limited, 1989:660-752.
35. Van Niekerk FE, van Niekerk CH, Heine EWP, Coetzee J. Breed differences in plasma calcium, phosphorus and magnesium concentrations of Merino, Dohne Merino and S.A. Mutton Merino sheep with relation to the bent-leg syndrome. *J S Afr Vet Assoc* 1989; 60:36-41.

36. Ballantine HT, Herbein JH. Potentiometric determination of ionized and total calcium in blood plasma of Holstein and Jersey cows. *J Dairy Sci* 1991; 74:446-449.
37. Dauth J, Preyer MJ, de Coning JP. Ionized calcium versus total calcium in dairy cows. *U.S.A. Vet Assoc* 1984; 55:71-72.
38. Braithwaite GD. Studies on the absorption and retention of calcium and phosphorus by young and mature Ca-deficient sheep. *Br J Nutr* 1975; 34:311-324.
39. National Research Council. Mineral tolerance of domestic animals. Washington: National Academy of Sciences, 1980.
40. Braithwaite BG. Calcium and phosphorus requirements of the ewe during pregnancy and lactation I. *Br Nutr* 1983; 50:723-736.
41. Brown EW. Extracellular Ca^{2+} sensing, regulation of parathyroid cell function and role of Ca^{2+} and other ions as extracellular (first) messengers. *Physiol Rev* 1991; 71:371-411.
42. Viana JAC, Zometa CA. El magnesio en la nutrición de los rumiantes. *Memorias del Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo*; 1976 marzo 22-26; Belo Horizonte Brasil. Florida (Gainesville): Lee R McDowell y Joe H Conrad. 1978:69-76.
43. Shirley RL, Padgett D. El azufre en la nutrición de los rumiantes. *Memorias del Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo*; 1976 marzo 22-26; Belo Horizonte Brasil. Florida (Gainesville): Lee R McDowell y Joe H Conrad. 1978:77-84.
44. Grace ND, Lee J. Influence of high zinc intakes, season and staple site on the elemental composition of wool and fleece quality in grazing sheep. *N Z J of Agri Res* 1992; 35:367-377.
45. Williams AJ. Some comparative studies of sulfate metabolism in Merino sheep genetically different in wool production. *Aust J Agri Res* 1995; 46:415-427.
46. Bulgin MS, Lincoln SD, Mather G. Elemental sulfur toxicosis in a flock of sheep. *J Am Vet Med Assoc* 1996; 208:1063-1065.

47. Grace ND, Lee J. Effect of Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Se and Zn supplementation on the elemental content of soft tissues and bone in sheep grazing ryegrass-white clover pasture. *N Z J of Agri Res* 1990; 33:635-647.

48. Langlands JP, Bowles JE, Smith AJ, Donald GE. Selenium concentration in the blood of ruminants grazing in northern New South Wales. II. Relationship with geological, pedological and other variables. *Aust J Agri Res* 1981; 32:523-533

49. Smart ME, Cimbaluk NF. Trace minerals. In: Naylor JM, Ralston S.L, editors. *Large animal clinical nutrition*. U.S.A.: Mosby, 1991:55-67.

50. Ammerman CB, Miller SM, McDowell LR, Zometa CA. El selenio en la nutrición de los rumiantes. *Memorias del Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo*; 1976 marzo 22-26; Belo Horizonte Brasil. Florida (Gainesville): Lee R McDowell y Joe H Conrad. 1978:106-114.

51. Millar KR. Selenium. In: ND Grace, editor. *The mineral requirements of grazing ruminants*. New Zealand.: New Zealand Society of Animal Production., 1983:38-47.

52. Van Niekerk FE, van Niekerk CH. Copper and selenium supplementation of ewes grazing on pastures low in copper and selenium: Effect on reproduction and concentration of plasma copper and blood selenium during pregnancy. *S Afr Tydskr Week* 1990; 20:246-249.

53. Davis GK, Mertz W. Copper. In: Walter Mertz, editor. *Trace elements in human and animal nutrition*. U.S.A.: Academic Press Inc., 1987:301-364.

54. Coelho SJF, Cháves VC. Cobre y molibdeno en la nutrición de los rumiantes. *Memorias del Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo*; 1976 marzo 22-26; Belo Horizonte Brasil. Florida (Gainesville): Lee R McDowell y Joe H Conrad. 1978:98-105.

55. Grace ND. Copper. In: ND Grace, editor. *The mineral requirements of grazing ruminants*. New Zealand.: New Zealand Society of Animal Production., 1983:56-66.

56. Suttle NF. The role of inorganic sulphur in the copper-molybdenum-S interrelationship in ruminant nutrition. *Br J Nutr* 1975; 34:411-420.

57. Suttle NF, Field AC. Effects of dietary supplements of thiomolybdates on copper and molybdenum metabolism in sheep. *J Comp Path* 1983; 93:379-389.
58. Morris ER. Iron. In: Walter Mertz, editor. Trace elements in human and animal nutrition. U.S.A.:Academic Press Inc., 1987:79-142.
59. Smith JE.: Iron metabolism and its diseases. In: Jiro J. Kaneko, editor. Clinical biochemistry of domestic animals. U.S.A.:Academic Press Limited, 1989:256-273.
60. McDowell LR, Houser RH, Fick KR, López-Barbella SR. Hierro, manganeso y zinc en la nutrición de los rumiantes. Memorias del Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo; 1976 marzo 22-26; Belo Horizonte Brasil. Florida (Gainesville): Lee R McDowell y Joe H Conrad. 1978:124-133.
61. Towers NR, Grace ND. Zinc. In: ND Grace, editor. The mineral requirements of grazing ruminants. New Zealand.:New Zealand Society of Animal Production., 1983:84-91.
62. Cousins RJ. Absorption, transport, and hepatic metabolism of copper and zinc: special reference to metallothionein and ceruloplasmin. *Physiol Rev* 1985; 65:238-300.
63. Gottschalk G. Bacterial metabolism. U.S.A. RR Donnelly and Sons, 1988.
64. Andrew T, Phillipson MA. Digestión en el rumiante. En: Fisiología de los animales domésticos. HH Dukes y MJ Swenson, editores. México, Aguilar 1970: 583- 612.
65. Grace ND. Studies in the flow of zinc, cobalt, copper and manganese along the digestive tract of sheep given fresh perennial ryegrass, or white or red clover. *Br J Nutr* 1975; 34:73-82.
66. Forar FL, Kincaid RL, Preston RL, Hillers JK. Variation of inorganic phosphorus in blood plasma and milk of lactating cows. *J Dairy Sci* 1982; 65:760-763.
67. Haydon KD, West JW, Mc Carter MN. Effect of dietary electrolyte balance on performance and blood parameters of growing-finishing swine fed in high ambient temperatures. *J Anim Sci* 1990; 68:2400-2406.
68. Hindson JC, Winter AC. Outline of clinical diagnosis in sheep. U. K.:Wright, 1990.

69. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köeppen. 4ta ed. México, D.F.:Indianápolis, 1988.
70. Aceves LA. Efecto de la raza y el tipo de parto sobre el perfil mineral de ovejas lactantes en confinamiento (tesis de licenciatura) México (DF) México: F.M.V.Z. U.N.A.M. 1997.
71. Tejada I. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. México: Sistema de Educación Continua en Producción Animal, A.C., 1992.
72. Fenton TW, Fenton M. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can J Anim Sci* 1979; 59:631-634.
73. Fiske CM, Subbarow Y. The colorimetric determination of phosphorus. *J Biol Chem* 1925; 66:375-376.
74. Stahr HM. Analytical toxicology methods manual. Iowa: State University Press Ames, 1977.
75. SAS. User's guide: Statistics, version 5.12. SAS Institute Inc. Cary, NC, 1985.
76. Sarkar S, Das KC, Pal Chowdhury S, Bhowmik MK, Mukherjee B. Effect of certain micromineral status in the soils and forages of alluvian tropics on the incidence of nutritional anaemia in grazing sheep. *In An Sci* 1992; 62:665-669.
77. Flores JA. Bromatología animal. México. Limusa, 1990.
78. Robertson JA. Influence of harvesting and conservation practices on forage quality. *Can. J S AFR VET ASSOC Plant Sci.* 1983; 63:913.
79. Silva RM, Fick KR. Técnicas de muestras de tejido animal y análisis. Memorias del Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo; 1976 marzo 22-26; Belo Horizonte Brasil. Florida (Gainesville): Lee R McDowell y Joe H Conrad. 1978:36-38.
80. Iason GR, Sim DA, Foreman E, Fenn P, Elston DA. Seasonal variation of voluntary food intake and metabolic rate in three contrasting breeds of sheep. *Anim Prod* 1994; 58:381-387.
81. Haresing W. Producción ovina. México D.F.: AGT, editor, 1989.
82. Betteridge K. A survey of the phosphorus content of pastures and the serum inorganic phosphorus content of dairy cows. *N Z Vet J* 1986; 34:22-26.

83. De Waal HO, Biel LC. Supplementation of lactating Dorper and Merino ewes on *Themeda cymbopogon* veld. 2. Diet quality and feed intake. S Afr Tydskr Veek 1989; 19:148-155.
84. Dulphy JP, Demarquilly C. The regulation and prediction of feed intake in ruminants in relation to feed characteristics. Livest Prod Sci 1994; 39:1-12.
85. Donnelly JR, Davidson JL, Freer M. Effect of body condition on the intake of food by mature sheep. Aust J Agri Res 1974; 25:813-823.
86. Suttle NF. Copper, iron, manganese and zinc concentrations in the carcasses of lambs and calves and the requirements for growth. Br J Nutr 1979; 42:89-96.
87. Grace ND. Amounts and distribution of mineral elements associated with fleece-free empty body weight gains in the grazing sheep. N Z J Agri Res 1983; 26:59-70.
88. Kaneko JJ Clinical Biochemistry of domestic animals. U.S.A.: Academic Press Limited, 1989: 1001-1003.
89. Wójcikowska SM, Szytych D. Selected microelements in wool of Polish sheep. Ann Warsaw Agric. Univ 1994; 30:59-68.
90. Pastrana R, McDowell LR, Conrad JH, Wilkinson NS. Macromineral status of sheep in the Paramo region of Colombia. Small Rumin Res 1991; 5:9-21.
91. Schonewille JTh, Beynen AC. High calcium intake does not impair apparent copper absorption in goats. J Anim Physiol a. Anim Nutr 1995; 73:251-257.
92. Pfeffer E, Pauen A, Haverkamp R. Changes in retention of P and Ca and courses of blood plasma concentrations of inorganic phosphate and calcium in P supply from reduced to adequate in combination with adequate or high Ca intake. J Anim Physiol a Anim Nutr 1993; 69:22-28.
93. Pond WG. Effect of dietary calcium and zinc levels on weight gain and blood tissues mineral concentrations of growing Columbia and Suffolk-sired lambs. J Anim Sci. 1983; 56:952-959.
94. Garel JM. Hormonal control of calcium metabolism during the reproductive cycle in mammals. Physiol Rev 1987; 67:1-66.

95. Mittwer MF, Contreras BPA, Klein R, Böhmwald H. Efecto de la suplementación con óxido de magnesio o sulfato de magnesio en la hipomagnesemia inducida farmacológicamente en ovejas. *Vet Mex* 1995; 26:341-346.
96. Qi K, Owens FN, Lu CD. Effects of sulfur deficiency on performance of fiber-producing sheep and goats: A review. *Small Rumin Res* 1994; 14:115-126.
97. Whelan BR, Peter DW, Barrow J. Selenium fertilizers for pastures grazed by sheep. I. Selenium concentration in whole blood and plasma. *J Agri Res* 1994; 45:863-875
98. Langlands JP, Wilkins JF, Bowles JE, Webb RF. Selenium concentration in the blood of ruminants grazing in northern New South Wales. I. Analysis of samples collected in the National Brucellosis Eradication Scheme. *Aust J Agri Res* 1981; 32:511-521.
99. Ladefoged O, Stürup S. Copper deficiency in cattle, sheep and horses caused by excess molybdenum from flyash: a case report. *Vet Hum Toxicol* 1995; 37:63-65.
100. Millar KR, Albyr AT, Meads WJ, Sheppard AD. Changes in blood levels of zinc, copper, selenium, glutathione peroxidase, vitamin B₁₂ and total and free thyroxine in sheep removed from pasture and held without food for 50 hours. *N Z Vet J* 1986; 34:1-3.
101. Ghosal AK, Mathur GN. Zinc, copper and iron contents of blood serum of cattle sheep in semi-arid tract of Rajasthan. In *J Anim Sci* 1992; 62:441-442.
102. Nockels CF, DeBonis J, Torrent J. Strees induction affects copper and zinc balance in claves fed organic and inorganic copper and zinc sources. *J Anim Sci* 1993; 71:2539-2545.

V. APÉNDICE.

Digestión húmeda (ácida) en horno de microondas.

La digestión húmeda se realiza empleando ácidos minerales y agentes oxidantes fuertes. Tiene como finalidad remover la materia orgánica de las muestras a analizar. La ventaja de la digestión húmeda sobre la seca es que no requiere mayor tratamiento, si acaso diluir, ya que una vez digerida la muestra, ésta queda lista para ser analizada por espectrometría.

El procedimiento de digestión en horno de microondas combina el uso de ácidos minerales fuertes, calor (producido por energía electromagnética: microondas) y presión. La frecuencia de energía electromagnética empleada comúnmente en la digestión es de 2450 Mhz (Kingtons, citado por Aceves, 1987). La presión y el calor sobre las muestras se controla empleando vasos de teflón, los cuales al cerrar por completo, permiten recuperar la totalidad de la muestra, reducir el uso de ácidos minerales y eliminar el empleo del ácido perclórico. Además, se evitan contaminaciones externas y se reduce el tiempo de procesamiento.

Digestión ácida de sangre total en horno de microondas¹.

Reactivos:

1. Agua desionizada.
2. Ácido nítrico (HNO_3) destilado en equipo de vidrio.

Digestión.

1. Pesar los vasos de teflón que se utilizarán.
2. Colocar en los vasos de teflón limpios y secos 2 ml de sangre total.
3. Pesar el vaso con la muestra.
4. Agregar al vaso con sangre, 2 ml de agua desionizada para provocar hemólisis.
5. Añadir al vaso con la sangre hemolisada 10 ml de HNO_3 destilado.
6. Colocar los vasos de teflón en sus respectivos contenedores y taparlos, cerciorándose que las membranas de las tapas estén en buenas condiciones.

¹ CEM (MDS-2000)

7. Introducir los vasos en el horno y programarlo de acuerdo a lo especificado por Aceves (1997).
8. Al finalizar el proceso de digestión, esperar a que la presión del horno descienda a cero.
9. Sacar los vasos y abrir sus válvulas poco a poco para evitar la salida de vapor con la consiguiente pérdida de muestra.
10. Con la ayuda de un embudo de tamaño adecuado, vaciar el contenido del vaso de teflón (digestión) en matraces aforados de 25 ml.
11. Empleando una piseta, enjuagar con agua desionizada tanto la tapa como el vaso de teflón; recolectar este líquido en el matraz de 25 ml. El embudo y la punta de éste se enjuagan también cuidadosamente.
12. Llevar a 25 ml con agua desionizada.
13. Tapar la boca del matraz y agitar para mezclar perfectamente.
14. Dejar enfriar en el congelador por espacio de 5 minutos.
15. Llevar a 25 ml
16. Vaciar el contenido del matraz en frascos de plásticos lavados previamente con una solución de 1:10 de HNO_3 .

Digestión ácida de lana en horno de microondas².

Reactivos:

1. Agua desionizada.
2. Ácido nítrico (HNO_3) destilado en equipo de vidrio.

Digestión.

1. Colocar en los vasos de teflón limpios y secos 0.5 g de lana limpia.
2. Agregar al vaso con lana 5 ml de HNO_3 destilado.
3. Colocar los vasos de teflón en sus respectivos contenedores y taparlos, cerciorándose que las membranas de las tapas estén en buenas condiciones.

² CEM (MDS-2000)

4. Introducir los vasos en el horno y programarlo de acuerdo a lo especificado por Aceves (1997).
5. Al finalizar el proceso de digestión, esperar a que la presión del horno descienda a cero.
6. Sacar los vasos y abrir sus válvulas poco a poco para evitar la salida de vapor con la consiguiente pérdida de muestra.
7. Con la ayuda de un embudo de tamaño adecuado, vaciar el contenido del vaso de teflón (digestión) en matraces aforados de 25 ml.
8. Empleando una piseta, enjuagar con agua desionizada tanto la tapa como el vaso de teflón; recolectar este líquido en el matraz de 25 ml. El embudo y la punta de éste se enjuagan también cuidadosamente.
9. Llevar a 25 ml con agua desionizada.
10. Tapar la boca del matraz y agitar para mezclar perfectamente.
11. Dejar enfriar en el congelador durante 5 minutos.
12. Llevar a 25 ml
13. Vaciar el contenido del matraz en frascos de plásticos lavados previamente con una solución de 1:10 de HNO_3 .

Limpieza del material.

Los vasos de teflón se enjuagan entre cada corrida. Se llenan hasta el borde con agua corriente cinco veces como mínimo y se vacían de golpe; posteriormente se enjuagan de igual forma con agua desionizada dos veces.

Los matraces se enjuagan entre corridas con agua corriente (cinco veces), con agua desionizada (dos veces) y con una solución 1:10 de HNO_3 y se dejan escurrir.