

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en
Zootecnia**

**MANGANESO EN COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO,
CONCENTRACIÓN MINERAL EN TEJIDOS Y
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA

GERMÁN CRUZ JIMÉNEZ



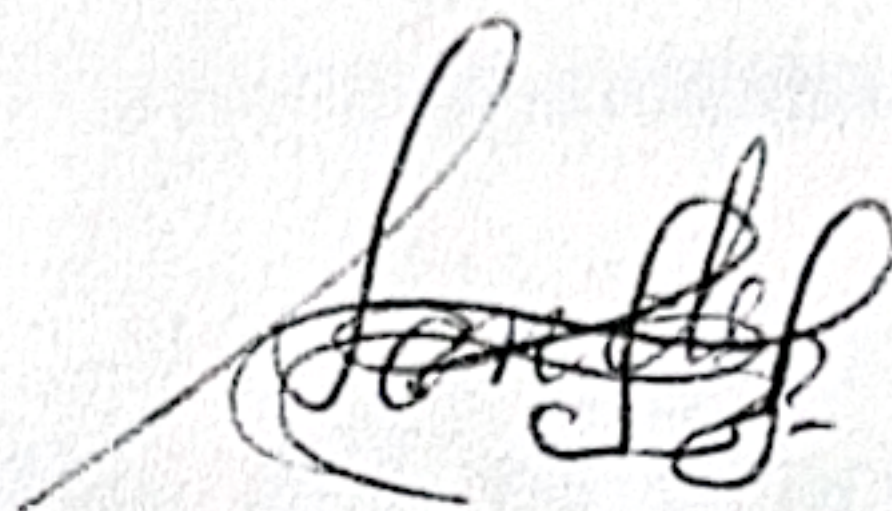
**Diciembre 2005
Chapingo, Estado de México**

**MANGANESO EN COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO,
CONCENTRACIÓN MINERAL EN TEJIDOS Y
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS**

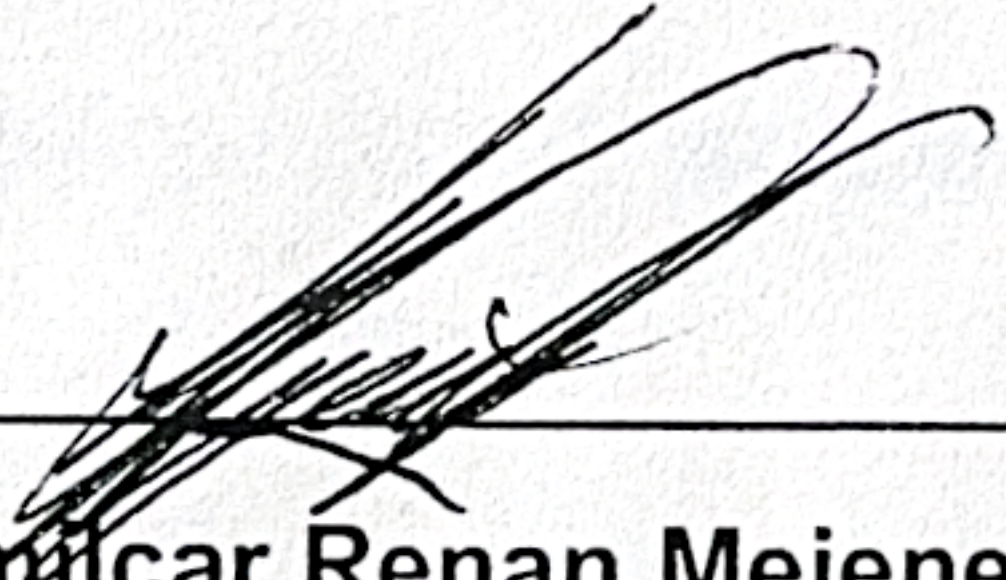
Tesis realizada por **Germán Cruz Jiménez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

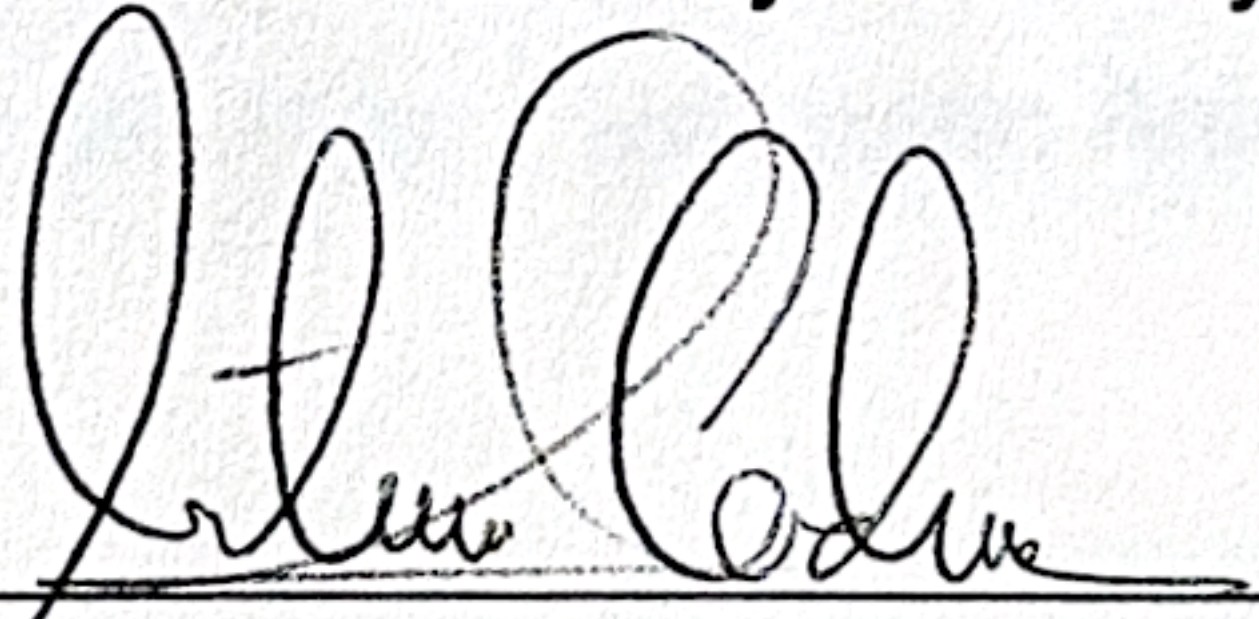
DIRECTOR: _____


M.C. Carlos Sánchez del Real

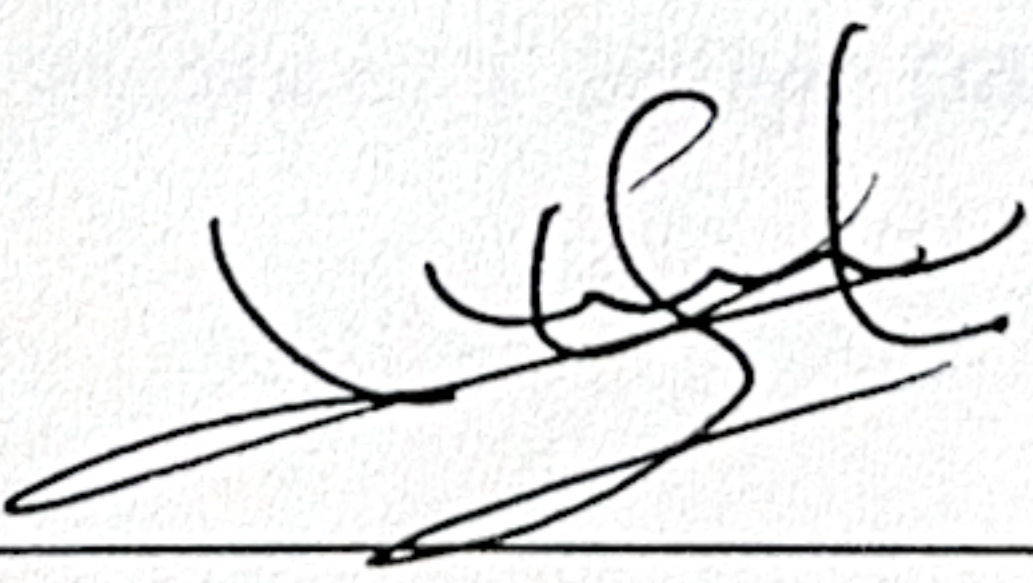
ASESOR: _____


Ph. D. Amílcar Renan Mejenes Quijano

ASESOR: _____


Dr. José Artemio Cadena Meneses

ASESOR: _____


Ph. D. Maximino Huerta Bravo

T-3272

A.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Zootecnia y al Posgrado en Producción Animal, por darme la oportunidad de lograr una formación académica integral.

Al M.C. Carlos Sánchez del Real, por su valiosa participación como director en el desarrollo de esta investigación, sus consejos y confianza brindada para la realización de mis estudios de maestría.

A los Ph.D. Amilcar Renán Mejenes Quijano, Maximino Huerta Bravo, Rafael Núñez Domínguez y al Dr. José Artemio Cadena Meneses por sus acertadas sugerencias y apoyo brindado para la culminación de la presente investigación.

Al Ing. Melitón Córdoba Álvarez, por su importante aporte en el análisis estadístico de la investigación, por su amistad y apoyo brindado.

Al M.C. Luis Emilio Castillo Márquez, por su apoyo en el análisis estadístico de la presente tesis.

A todos los profesores del Posgrado en Producción Animal, por sus importantes aportes académicos.

Al Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, especialmente al Técnico Indalecio Flores Santamaría, por su enorme paciencia y apoyo para la culminación de la presente investigación.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar hasta este momento y por ser siempre a quien encomiendo cada uno de mis hechos y metas por lograr.

A mis padres Virginia Jiménez Vega y Rogelio Cruz Navarro a quienes dedico este gran esfuerzo con todo cariño, por darme la vida, el amor y por todas esas palabras de aliento y actitud optimista que me ayudaron a cumplir esta meta.

A mis hermanos Joel, Lorena, Juan y Alfredo por apoyarme siempre incondicionalmente en las buenas y en las malas, por su apoyo y gran espíritu de superación.

A mis abuelitos Enrique, María, Sofía y Pablo por demostrarme siempre su cariño que me motivó a seguir adelante.

A todos mis tíos, primos, sobrinos, cuñados por mantener la armonía de la familia y por brindarme apoyo en todo momento.

Al Maestro Ismael Reyes Aguayo, por ayudar a superarme profesionalmente y por confiar en mí para lograr una de mis más grandes metas.

A Beatriz Aurora Flores Martínez, por todo el apoyo incondicional, comprensión y sobre todo el amor que me has brindado para seguir adelante.

A todos mis compañeros y amigos del Posgrado en Producción Animal, por su amistad y apoyo.

Germán

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre: Germán Cruz Jiménez

Fecha de Nacimiento: 28 de mayo de 1980

Lugar de nacimiento: Ejido Venustiano Carranza, Candelaria, Campeche

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

FORMACIÓN ACADÉMICA

1992-1995 Escuela Secundaria Técnica No. 3, San Diego Tekax, Yucatán

1995-1998 Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

1998-2002 Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo

2003-2005 Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia,
Universidad Autónoma Chapingo

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
DATOS BIOGRÁFICOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	viii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	2
CAPÍTULO II.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Características generales del manganeso	5
Manganeso en los alimentos.....	5
Fuentes ricas en manganeso	6
Metabolismo del manganeso.....	7
Absorción.....	7
Transporte	8
Excreción	9
Alteraciones en metabolismo de carbohidratos.....	10
Función bioquímica del manganeso.....	11
Requerimientos de manganeso en ovinos	13
Deficiencia.....	13
Toxicidad.....	14
Relación del manganeso con otros nutrimentos.....	15
Hierro.....	16
Calcio y fósforo	17
Magnesio	17
Distribución y almacenamiento del manganeso en tejidos.....	18
Determinación de minerales en tejidos	20
Manganeso y crecimiento	20
Medida del punto GR en canales de ovinos	21
Características de la canal suplementada con manganeso	22
CAPÍTULO III.....	23
MANGANESO EN COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, CONCENTRACIÓN	
MINERAL EN TEJIDOS Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE	
CORDEROS	24
RESUMEN	24
ABSTRACT	26

INTRODUCCIÓN	28
MATERIALES Y MÉTODOS	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
CONCLUSIONES.....	47
IMPLICACIONES	47
LITERATURA CITADA.....	48
CAPÍTULO IV	53
LITERATURA CITADA GENERAL	54
CAPÍTULO V	62
APÉNDICES.....	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Metaloenzimas del manganeso y enzimas activadas por manganeso.....	12
2	Concentración de manganeso en tejidos de animales adultos.....	19
3	Ingredientes y composición nutritiva de la dieta base experimental.....	30
4	Comportamiento productivo de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	34
5	Probabilidades de los coeficientes que conformaron la ecuación de predicción de consumo de alimento.....	36
6	Probabilidades de efectos principales e interacciones para los diferentes minerales estudiados.....	40
7	Concentración de minerales en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta (promedio de siete tejidos).....	41
8	Concentración de minerales en tejidos de corderos en finalización (promedio de cinco niveles de manganeso en una dieta).....	42
9	Media de mínimos cuadrados para concentración de manganeso en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	44
10	Concentración mineral en plasma sanguíneo de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta (promedio de tres muestreos).....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Consumo de alimento de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	35
2	Ganancia de peso catorcenal de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta (Promedio de tres períodos).....	37

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice		Página
1	Concentración mineral por muestreo en plasma sanguíneo de corderos (Promedio cinco niveles de manganeso suplementado en la dieta).....	63
2	Rendimiento de componentes de canal y de tejidos en base al peso vivo al sacrificio de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	64
3	Concentración de cobre en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	64
4	Concentración de hierro en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	65
5	Concentración de cinc en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	65
6	Concentración de manganeso en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	66
7	Concentración de sodio en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	66
8	Concentración de potasio en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	67
9	Concentración de calcio en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	67

10	Concentración de fósforo en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	68
11	Concentración de magnesio en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.....	68

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

El uso del manganeso (Mn) en dietas para corderos ha cobrado importancia por sus propiedades como promotor de crecimiento, además de que es indispensable para evitar anomalías en las funciones reproductivas en machos y hembras, ataxia en recién nacidos y anomalías esqueléticas (NRC, 1980). En los estudios realizados para evaluar la influencia del Mn en características productivas de corderos se han utilizado niveles bajos de Mn con poca evidencia de cambio en la respuesta productiva (Grace, 1973), por lo que aún no se ha determinado con exactitud el nivel de Mn adecuado para obtener el mejor comportamiento productivo.

La recomendación de la NRC (1985) es 20 mg kg⁻¹ MS como mínimo requerido y 1000 mg kg⁻¹ MS de Mn como máximo tolerable en ovinos.

Por otra parte, existen evidencias de que 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS son tolerados por los ovinos y que los efectos tóxicos que presenta este mineral están más relacionados con la obstrucción de otros minerales como Fe, Ca, P y Mg que con el efecto específico del mismo Mn (Ivan e Hidirolou, 1980), por lo que estas interacciones pueden ser de significancia biológica para el animal; sin embargo, la información existente es todavía insuficiente para determinar con exactitud si este efecto es persistente.

El impacto de la suplementación de Mn sobre el rendimiento y composición de la canal de corderos no se conoce con precisión, además que la información es limitada y ésta se ha obtenido en otras especies animales. Por ejemplo, se ha observado que cerdos que consumen dietas suplementadas con

Mn incrementan el rendimiento en canal y acumulan menos grasa que los cerdos no suplementados (Grummer *et al.*, 1950).

El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento productivo, concentración mineral en tejidos, rendimiento en canal y punto GR de corderos en finalización, alimentados con una dieta base suplementada con diferentes niveles de manganeso.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Características generales del manganeso

El Mn es un metal en transición ($3d^5$, $4s^2$), tiene propiedades químicas similares al Fe y ambos se encuentran adjuntos en la tabla periódica. El Mn se encuentra en el grupo de los elementos metálicos VIIb, puede existir en valencias de 2, 3, 4, 6 y 7. El Mn puede existir en 11 estados de oxidación de -3 a +7. La valencia +2 es la forma natural predominante. Constituye un 0.10% de la corteza terrestre y ocupa el 12º lugar en abundancia (NRC, 1980). Tiene un peso atómico de 54.94 y número atómico de 25. Posee normalmente dos valencias, pero también puede ser trivalente. El isótopo natural es Mn^{55} (100%) (Leach y Harris, 1997).

Hace setenta años se descubrió por primera vez que el Mn era esencial para el crecimiento, en la fertilidad de ratones y en ratas. Posteriormente se descubrió que dos enfermedades de las aves, conocidas como perosis o “deslizamiento del tendón” y condrodistrofia, podían prevenirse con suplementos de Mn (Underwood y Suttle, 2003).

Manganeso en los alimentos

La concentración de Mn en los forrajes puede variar entre especies, variedades, tipo de suelo y contenido de Mn en el suelo. Los valores típicos para varios pastos se encuentran en el rango de 60 a más de 800 mg kg⁻¹ MS de Mn, mientras que para granos de cereales es de 30 a 50 mg kg⁻¹ MS de Mn

y de 30 a 40 mg kg⁻¹ MS de Mn en pasta de soya (NRC, 1980). McDonald *et al.* (1993) mencionan valores de 40 a 200 mg kg⁻¹ MS de Mn en granos de cereales y 500 a 600 mg kg⁻¹ MS de Mn en forrajes de terrenos ácidos.

Los granos de cereales varían ampliamente en la concentración de Mn. Las concentraciones típicas en las fuentes de alimento para animales son: trigo, 40; salvado, 120; cebada, 25; avena, 50; maíz, 8; pasta de soya, 30 a 40; y sorgo 16 mg de Mn kg⁻¹ MS en base seca (Hurley y Keen, 1987).

Las plantas absorben el Mn en forma bivalente. En el suelo, el Mn se encuentra predominantemente en las formas tri y tetravalente, las cuales las plantas no pueden absorber (Hidiroglou, 1979).

Fuentes ricas en manganeso

Las fuentes de Mn para la alimentación del ganado pueden ser divididas en dos grandes grupos: fuentes inorgánicas y orgánicas. La importancia de la disponibilidad del Mn en los suplementos inorgánicos fue identificada en los primeros estudios con Mn procedente de dos fuentes, rodocroisita (un mineral carbonatado) y rodonita (un silicato), demostrando que éstas eran relativamente inutilizables por las aves (Underwood y Suttle, 2003). Las fuentes inorgánicas de Mn más utilizadas son: Sulfato de Mn (MnSO₄), Óxido de Mn (MnO) y Carbonato de Mn (MnCO₃); de estas tres, el MnSO₄ tiene la disponibilidad más elevada y los valores de las otras dos fuentes relativas a MnSO₄ se sitúan en un 30 y un 55%, respectivamente, para aves y en un 35 y 30%, respectivamente para ovejas (Henry *et al.*, 1992). Por lo tanto, deben utilizarse niveles elevados correspondientes a MnCO₃ y MnO para corregir déficits dietéticos.

Las fuentes orgánicas de Mn son el resultado de la unión del Mn con péptidos, los cuales incrementan la disponibilidad del Mn y vencen el obstáculo dietético que representan el fitato y la fibra sobre la absorción del Mn (Fly *et al.*, 1989). Las fuentes orgánicas de Mn más conocidas son: el quelato proteína-manganeso y el complejo metionina-manganeso. Henry *et al.* (1992) encontraron en corderos que el complejo metionina-manganeso (36% de metionina, 15.7% de Mn) fue una o dos veces más disponible que el $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (32.5% de Mn). Sin embargo, Baker y Halpin (1987), en un estudio con pollos encontraron disponibilidades similares para el quelato proteína-manganeso que para MnSO_4 , cuando se proporcionan valores dentro del intervalo tóxico. Por lo tanto, la suplementación de Mn en formas queladas o protegidas no suele tener ningún beneficio curativo o preventivo adicional al que puedan proporcionar las formas inorgánicas más simples y baratas (Underwood y Suttle, 2003).

Metabolismo del manganeso

Absorción

El modo y el control de la absorción de Mn en el conducto gastrointestinal no están bien entendidos. La cantidad absorbida, al parecer es proporcional a la cantidad ingerida, y la absorción ordinaria es menor al 10% (Church *et al.*, 2002). La homeostasis se alcanza inicialmente mediante una cierta regulación de la absorción hasta los límites impuestos por la fuente de Mn y los propios de los antagonistas de la ración (Underwood y Suttle, 2003). Así como con otros

elementos minerales, la disponibilidad de Mn absorbido en el lumen intestinal se ve influido por muchos factores, tales como la forma bioquímica, presencia de quelatos o agentes complejos y la cantidad de Ca y P presente (Leach y Harris, 1997).

La absorción del Mn es disminuido con niveles excesivos de Ca, P y Fe en la dieta (NRC, 1980). Weiss y Socha (2005) al suplementar Mn como MnSO_4 en vacas gestantes observaron un consumo de $744 \text{ mg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ con una excreción fecal de 699 mg día^{-1} , una excreción urinaria de 0.2 mg día^{-1} y una absorción aparente de 6.1%. A su vez, con el complejo metionina-manganeso, estos autores observaron que con un consumo de 679 mg día^{-1} las vacas tuvieron una excreción fecal de 634 mg día^{-1} , una excreción urinaria de 0.3 mg día^{-1} y una absorción aparente de 6.7%.

Transporte

La albumina, transferrina y transmanganina han sido identificadas como proteínas transportadoras de Mn en plasma. Sin embargo, Davidson *et al.* (1989), en un estudio con ratas, demostraron que las pequeñas cantidades de Mn absorbidas son transportadas por la proteína transferrina.

El Mn se absorbe en el conducto gastrointestinal como Mn^{2+} , se oxida a Mn^{3+} , se transporta de manera rápida a todos los tejidos y, finalmente se concentra en los tejidos que contienen muchas mitocondrias. En muchas especies se ha demostrado que las mitocondrias del hígado, el páncreas y el cerebro acumulan Mn radioactivo. El Mn se transporta en la sangre como Mn^{3+} , unido de manera laxa a una β 1-globulina plasmática (menos la transferrina), y

se elimina con rapidez de la sangre, apareciendo primero en las mitocondrias y luego en los núcleos de las células (Hurley y Keen, 1987; Church *et al.*, 2002). La transferrina y la α_2 -macroglobulina han sido propuestas como las proteínas responsables para el transporte de Mn en los tejidos (Leach y Harris, 1997).

Excreción

Cualquier exceso de Mn puede ser excretado por la bilis y en menor cantidad en los jugos pancreáticos, siendo pequeña la posibilidad de reabsorción (Underwood, 1981; Underwood y Suttle, 2003). Sin embargo, a medida que la cantidad de Mn absorbido aumenta, progresivamente se excreta mayor proporción en heces. Las concentraciones de Mn en la bilis son semejantes a las de la sangre; esto podría explicar la incapacidad de los tejidos corporales de acumular concentraciones elevadas de Mn. Así, la excreción y no la absorción, representa el mecanismo principal mediante el cual en condiciones normales se mantiene la homeostasis del Mn en el cuerpo (Church *et al.*, 2002). Los rumiantes tienen un efectivo control homeostático para los niveles de Mn en sangre y tejidos, y la retención de Mn por el animal depende de la cantidad excretada vía bilis dentro del intestino. El Mn dietético es mayoritariamente excretada en las heces (Hidiroglou, 1979).

Ivan y Grieve (1975), en un estudio con vaquillas Holstein, observaron valores de excreción de Mn en orina de 0.45% del consumo diario y este valor se redujo por la suplementación de Mn en la dieta.

Alteraciones en metabolismo de carbohidratos

Dos reportes fueron los responsables para despertar el interés de la posible relación entre la deficiencia de Mn y el metabolismo de carbohidratos. En el primero, el Mn mejoró la tolerancia a la glucosa en un paciente que no respondió a la insulina. Este concepto fue reforzado al observar que los cerdos de Guinea eran deficientes en Mn (Leach y Harris, 1997). En el segundo, se observó que la piruvato carboxilasa influyó en el metabolismo de lípidos, tanto como en el de la glucosa, ya que la acumulación de grasa que se observa en una deficiencia de Mn es también una característica de la deficiencia de biotina en animales no rumiantes y la biotina activa a la misma enzima.

La deficiencia de Mn puede influir en el metabolismo de carbohidratos mediante los efectos sobre fosfoenolpiruvato carboxiquinasa, para la cual el Mn es un cofactor, o sobre piruvato carboxilasa, una metaloenzima del Mn. Ambas la piruvato carboxilasa y la fosfoenolpiruvato carboxiquinasa son enzimas clave en la gluconeogénesis, necesarias para la conversión de lactato o piruvato a oxaloacetato, fosfoenolpiruvato y glucosa (Hurley y Keen, 1987).

Se han observado defectos en el metabolismo de lípidos y de carbohidratos en ratas y cobayas deficientes en Mn, pero poco se sabe de estos aspectos en el metabolismo de animales domésticos (Underwood y Suttle, 2003).

Función bioquímica del manganeso

Las enzimas que son activadas por Mn son numerosas e incluyen a las quinasas, hidrolasas, transferasas y descarboxilasas. La activación sucede usualmente para ser accionada con otros cationes bivalentes como el Mg (Underwood, 1981).

El Mn es el metal cofactor preferido por un grupo de glucosil transferasas involucradas en la síntesis de mucopolisacáridos. Ésta es la evidencia de las funciones del Mn en el metabolismo de carbohidratos y lípidos y en el metabolismo del cerebro. La mitocondria generalmente contiene altas concentraciones de Mn. El Mn tiende a ser más alto en tejidos ricos en mitocondrias y es más concentrado en la mitocondria que en el citoplasma u otros organelos de la célula (Hurley y Keen, 1987). La piruvato carboxilasa y la superóxido dismutasa son dos importantes metaloenzimas que contienen Mn (NRC, 1980). Otros ejemplos de enzimas activadas por Mn que pueden ser afectadas por la deficiencia de Mn es la fosfoenolpiruvato carboxiquinasa y la xilosiltransferasa; esta última cataliza la transferencia de xilosa en la formación de las cadenas de proteína y polisacáridos (Hurley y Keen, 1987).

Las enzimas que funcionan como un cofactor y que requieren Mn, no podrían optimizar su función cuando existe una deficiencia de Mn en la dieta, pero la baja actividad de las enzimas indican que el Mn es sólo un componente de una metaloenzima. La prueba definitiva depende del aislamiento de la enzima purificada y de la prueba de que el Mn es parte de esta estructura. En el Cuadro 1 (Leach y Harris, 1997) se enlistan las enzimas que se han

demostrado que funcionan como cofactores del Mn o son activadas por la adición del Mn al medio.

Cuadro 1. Metaloenzimas del manganeso y enzimas activadas por manganeso.

Enzimas	Función
Metaloenzimas del manganeso	
Centro de reemplazo de oxígeno en el fotosistema II	Fotosíntesis
Superóxido dismutasa dependiente de Mn	Antioxidante en bacterias y mitocondrias
Piruvato carboxilasa	Gluconeogénesis
Arginasa	Ciclo de la urea
Catalasa dependiente de Mn	Antioxidante en bacterias
Enzimas activadas por manganeso	
Fosfoenolpiruvato carboxiquinasa	Gluconeogénesis
Glicosil transferasas	Biosíntesis de glicoproteína
Glutamina sintetasa	Metabolismo de amonio
Farnesil pirofosfato sintetasa	Biosíntesis de colesterol
Peroxidasas dependientes de Mn	Antioxidante en bacterias

Fuente: Leach y Harris (1997).

Se ha demostrado que la deficiencia de Mn en la dieta reduce la concentración de Mn y la actividad de enzimas en tejidos; estas enzimas incluyen manganeso superóxido dismutasa (MnSOD), arginasa y fosfatasa alcalina (Masters *et al.*, 1988). Davis *et al.* (1990) en un estudio en ratas observaron que la actividad de la enzima MnSOD puede ser utilizada como un indicador del estado nutricional en cuanto a Mn; sin embargo, otros factores pueden influir en la actividad de esta enzima.

Requerimientos de manganeso en ovinos

No hay estudios definitivos que establezcan los requerimientos de Mn para ovinos. Sin embargo, la NRC (1985) menciona que los requerimientos de Mn para corderos son 20 mg kg^{-1} MS como mínimo requerido y 1000 mg kg^{-1} MS de Mn como máximo tolerable. Por su parte, la ARC (1980) sugiere que el requisito para crecimiento es de aproximadamente de $10 \text{ mg de Mn Kg}^{-1}$ MS; mientras que, para el desarrollo óptimo del esqueleto y para reproducción indica $25 \text{ mg de Mn Kg}^{-1}$ MS. Adicionalmente, Masters *et al.* (1988) encontraron que 13 mg kg^{-1} MS de Mn es apropiado para la ganancia de peso vivo y para el crecimiento lanar, aunque quizá fuera necesaria una cantidad superior (16 mg kg^{-1} MS) para el crecimiento testicular.

Deficiencia

Los principales signos de deficiencia de Mn en ovinos incluyen una reducción en el índice de crecimiento, funciones reproductivas anormales en machos y hembras, ataxia en recién nacidos y anormalidades esqueléticas (NRC, 1980). Estas anormalidades están, sin duda, relacionadas con la función del Mn en la síntesis de mucopolisacáridos en la matriz orgánica de los huesos. Derrengadura, acortamiento y combadura de las patas, y articulaciones agrandadas son comunes en cerdos, bovinos, ovinos y cabras con deficiencia de Mn (Church *et al.*, 2002).

Las anormalidades en la estructura y la función celular provocada por una deficiencia de Mn, ocurre particularmente en la mitocondria. Una deficiencia de Mn causa cambios en los parámetros estructurales de hígado, páncreas, riñón y corazón. Todos los tejidos deficientes en Mn presentan alteraciones en la integridad de sus membranas celulares (Hurley y Keen, 1987).

Corderos alimentados con dietas deficientes en Mn manifestaron 12 semanas después signos clínicos de dolor en articulaciones, oposición al movimiento y tibias más cortas; además de reducción de los niveles de Mn en lana, corazón e hígado (Lassiter y Morton, 1968). Rojas *et al.* (1965), en un estudio con vacas, observaron que una deficiencia de Mn no afectó la ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia; las vacas en estudio exhibieron ciclos estrales regulares y requirieron de cuatro servicios por concepción en comparación a dos del tratamiento control.

Toxicidad

Los altos niveles dietéticos de Mn son bien tolerados por los ovinos; al parecer los efectos tóxicos del Mn están más relacionados con la obstrucción del uso de otros minerales que con un efecto específico del mismo Mn (Church *et al.*, 2002). La NRC (1985) indica un valor de 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS como máximo tolerable en ovinos. Black *et al.* (1985) citan la evidencia de la capacidad del hígado para metabolizar grandes cantidades de Mn en períodos cortos y mencionan que cuando esta capacidad es excedida, da como resultado una acumulación de Mn en tejidos y una caída en las funciones excretoras; esta

falla en la homeostasis del Mn sugiere efectos tóxicos con 4000 mg kg⁻¹ MS como MnO y 8000 mg kg⁻¹ MS de Mn como MnCO₃ en algunos animales.

Ivan e Hidioglou (1980) alimentaron a corderos con 22, 300 y 3000 mg kg⁻¹ MS y observaron que con 3000 mg de Mn kg⁻¹ MS los corderos disminuyeron la ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia, presumible por toxicidad. Similarmente, Jenkins e Hidioglou (1991) alimentaron becerros con 40, 200, 500, 1000 y 5000 mg de Mn kg⁻¹ MS en sustitutos de leche y encontraron que con 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS el consumo de alimento, ganancia de peso y eficiencia alimenticia disminuyeron ligeramente; ninguno de los becerros alimentados con 5000 mg de Mn kg⁻¹ MS sobrevivieron a las cinco semanas de experimento por efecto de toxicidad.

Relación del manganeso con otros nutrimentos

Los minerales pueden interactuar con otros minerales y con otros nutrimentos, o con no nutrimentos. Estas interacciones pueden ocurrir en la dieta, en el tracto digestivo, o en tejidos y células. Las interacciones pueden ser antagónicas o sinérgicas. Entendiendo esas interacciones se pueden prevenir las deficiencias minerales. Las interacciones sinérgicas son interacciones directas que ocurren durante la síntesis de proteínas estructurales, durante la competencia entre elementos por los sitios activos o por una enzima, o activación de algunos sistemas enzimáticos. El antagonismo mineral en tejidos ocurre a menudo, en una interacción directa entre elementos, en la competencia entre iones por un sitio activo o competencia por un sitio de transporte común (Abdelrahman y Kincaid, 1993).

Hierro

Varias líneas de evidencia indican que el exceso de Mn podría interactuar con algunas características del sistema de transporte del Fe. El exceso de Mn puede afectar el metabolismo del Fe por la inhibición de la enzima 5-aminolevulinato sintasa, necesaria para la síntesis de hemoglobina (Davis *et al.*, 1990). La presencia de Mn disponible en el cuerpo se incrementa en condiciones de deficiencia de Fe. También, se cree que el tejido de la mucosa juega un papel importante en la homeostasis del Mn por el secuestro del Mn, el cual subsecuentemente se pierde por descamaciones de la mucosa intestinal (Leach y Harris, 1997).

Robinson *et al.* (1961b), al evaluar diferentes niveles de Mn en la dieta de ganado para carne, observaron que el exceso de Mn en la dieta no tuvo efecto significativo en la retención de Ca o P en plasma, pero si disminuyó la absorción de Fe y la digestibilidad de la fibra, probablemente debido a que la habilidad de los microorganismos del rumen para digerir celulosa disminuye marcadamente en animales con alto nivel de Mn en la dieta. Watson *et al.* (1973) alimentaron a corderos con dietas con 4000 mg kg⁻¹ MS de Mn y observaron bajos niveles de Fe, Zn y Cu en hígado, bajos niveles de hemoglobina en sangre y un incremento en el nivel de Cu en hueso.

Calcio y fósforo

Rojas *et al.* (1965) mencionan que un considerable exceso de Ca o P, o ambos pueden interferir con la utilización de Mn. Hidiroglou y Standish (1978) encontraron que corderos alimentados con dietas con bajo nivel de Mn alteran la utilización de otros elementos minerales en el cuerpo del animal, especialmente Ca y sugieren que esas interacciones pueden ser de significancia biológica. Por el contrario Wedekind *et al.* (1991), en un estudio realizado con pollos observaron que el exceso de Ca no afecta la utilización de Mn; sin embargo, el exceso de P reduce la utilización del Mn. Estos autores indican que la evidencia de antagonismo de Mn con P es independiente del consumo de Ca.

Magnesio

El Mn y el Mg son divalentes, son cationes de metales en transición que pueden ser intercambiables en varias funciones dentro del cuerpo. Por ejemplo, el cuerpo puede reemplazar el Mn por Mg con una eficiencia similar, así el Mn puede activar enzimas que de manera normal son activadas por el Mg y viceversa (Apple *et al.*, 2004). Paralelamente, las metaloenzimas del Mn como la piruvato carboxilasa está sujeta a una sustitución parcial del Mn por Mg, con sólo una pequeña alteración en las propiedades catalíticas de la enzima (Hurley y Keen, 1987). Un ejemplo de esto, es que la enzima calcio ATPasa es activada de manera normal por el Mg; sin embargo, en deficiencia de este mineral puede también ser activada por el Mn (Apple *et al.*, 2004).

Distribución y almacenamiento del manganeso en tejidos

El Mn es uniformemente distribuido en todos los tejidos; sin embargo, en el hígado es donde se encuentra la mayor concentración. No existen formas de almacenamiento para Mn como lo existe por ejemplo para Fe (Leach y Harris, 1997). Church *et al.* (2002) mencionan que el Mn está ampliamente distribuido en todo el cuerpo y no tiende a acumularse en concentraciones elevadas en hígado y otros tejidos cuando se ingiere en grandes cantidades, a diferencia de la mayoría de los otros oligoelementos. Por el contrario, Doyle y Spaulding (1978) mencionan que el Mn se encuentra principalmente en hígado y riñón y menores cantidades en corazón y músculo. En ganado bovino, ovino y cerdos las concentraciones de Mn en hígado se encuentran en un rango de 8 a 12 $\mu\text{g g}^{-1}$ en base seca; en cambio, en pollos la concentración es mucho menor. La acumulación de Mn en hígado no refleja el consumo dietético de Mn (Kincaid, 1999).

De todos los minerales traza, el Mn es de los menos abundantes en todos los tejidos animales, con concentraciones que oscilan entre 0.5 y 3.9 mg kg^{-1} MS en las estructuras corporales de ovejas y terneros (Suttle, 1979; Grace, 1983). En la oveja adulta, las concentraciones más elevadas de Mn se encuentran en el hígado, seguido del páncreas y del riñón; en el resto de los tejidos los valores son inferiores a 0.3 mg kg^{-1} peso fresco (Grace, 1983). No existen evidencias de que se produzcan reservas de Mn en hígado, riñón, músculo o huesos de corderos alimentados con raciones de entre 13 y 45 mg Mn kg^{-1} MS (Masters *et al.* 1988).

En términos cuantitativos, el tracto gastrointestinal y la piel contienen la mayor parte del Mn presente en la oveja (Grace, 1983). Los huesos contienen cantidades substanciales de Mn, esto es un fenómeno que varios investigadores han utilizado como un indicador de consumo de Mn disponible. Sin embargo, ésta es una situación análoga al Zn, en donde en hueso no hay un mecanismo de remoción para la liberación de este mineral. Este mecanismo podría considerarse como un almacenamiento pasivo. Entonces, esos minerales son liberados sólo como resultado de un proceso de reemplazamiento en el hueso o de una situación de reabsorción acelerada, o con un bajo consumo de Ca (Leach y Harris, 1997). En el Cuadro 2 se presenta la concentración de Mn en algunos tejidos de animales.

Cuadro 2. Concentración de manganeso en tejidos de animales adultos.

Tejido	Concentración de manganeso (mg kg⁻¹)			
	Bovino (BH)	Ovino (BS)	Humano (BH)	Rata (BH)
Hueso	1.50	3.0	2.55	2.00
Hígado	2.50	2.0	1.40	2.40
Páncreas	1.58	-	1.21	1.35
Intestino	1.80	-	1.10	1.00
Riñón	1.30	0.8	1.20	0.72
Cerebro	0.23	1.3	0.32	0.35
Corazón	0.33	-	0.23	0.40
Bazo	0.20	0.6	0.22	0.24
Pulmón	0.25	-	0.27	0.11
Músculo	0.80	0.24	0.06	0.07
Sangre	0.02	0.020	0.01	0.012
Plasma	0.005	0.8	0.001	0.001

Fuente: Hurley y Keen, (1987); Puls, (1988).

Determinación de minerales en tejidos

Las medidas sanguíneas son frecuentemente usadas en la determinación de la concentración mineral de los tejidos animales, debido a que la sangre está altamente correlacionada con el estado nutricional de algunos elementos traza (Kincaid, 1999). Sin embargo, el mecanismo de control homeostático puede limitar cambios en concentraciones de algunos minerales traza en plasma hasta que las reservas endógenas sean agotadas. Además, las muestras se deben manejar cuidadosamente para prevenir su hemólisis y contaminación (Miller, 1975). McDowell (1992) indica que el hígado es el órgano representativo del estado de varios minerales traza en el cuerpo de los animales.

Manganeso y crecimiento

Cunningham *et al.* (1966) mencionan que el exceso de Mn dietético en la dieta de corderos es una causa de disminución en el crecimiento, debido a la evidencia de antagonismo entre este elemento y otros componentes dietéticos. En un estudio con becerros estos autores observaron una disminución en el consumo de alimento y ganancia de peso al incrementar el nivel de Mn en la dieta de 820 a 2460 ó 4920 mg kg⁻¹ MS. Por el contrario, Hidiroglou (1979) observó que becerros deficientes en Mn tuvieron desórdenes nerviosos, seguido de ataxia y temblores musculares; sin embargo, no se alteró su índice de crecimiento.

Medida del punto GR en canales de ovinos

Hasta el período 1973-1974, el estado de engrasamiento se determinaba exclusivamente de manera subjetiva. A partir de entonces, se introdujo la medida del punto GR para separar de manera objetiva las canales consideradas excesivamente grasosas. La medida GR corresponde al espesor de los planos musculares y adiposos que se encuentran situados entre la superficie de la canal y el hueso de la costilla, en un punto que dista lateralmente 11 cm de la columna vertebral a nivel de la 12 costilla; la medición se realiza con una regla metálica graduada.

La medida GR permite predecir el grado de adiposidad de las canales con razonable precisión (Colomer, 1983). Kirton y Johnson (1979); Davies (1989) indican una correlación del 74% de la medida GR con el porcentaje de grasa química contenida en la canal y del 25 al 50% en el contenido de músculo. En promedio, la reducción por cada milímetro en la medida GR equivale a una unidad porcentual menos en el grado de engrasamiento de la canal, un incremento en músculo del 0.5% y un incremento en 0.5% o menos en hueso (Kirton *et al.*, 1985).

Características de la canal suplementada con manganeso

Es limitada la información disponible que se relaciona con los efectos del Mn dietético en las características y composición de la canal. Grummer *et al.* (1950) observaron que el rendimiento en canal fue más alto en cerdos suplementados con 160 mg kg⁻¹ MS de Mn comparado con los cerdos no suplementados. Apple *et al.* (2004) encontraron que cerdos que fueron suplementados con 700 mg kg⁻¹ MS de Mn tendieron (P=0.08) a acumular menos grasa dorsal y menos grasa en la primera y última costilla, que los cerdos suplementados con 350 mg kg⁻¹ MS de Mn.

CAPÍTULO III

MANGANESO EN COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, CONCENTRACIÓN MINERAL EN TEJIDOS Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS

Cruz Jiménez Germán¹, Carlos Sánchez del Real^{1*}, Amilcar Renán Mejenes Quijano², José Artemio Cadena Meneses¹, Maximino Huerta Bravo¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la inclusión de Mn en la dieta de corderos en finalización sobre parámetros productivos, concentración mineral en plasma y en tejidos cárnicos, rendimiento en canal y punto GR. Se utilizaron 45 corderos Criollo*Rambouillet, con pesos iniciales promedio de 26.26 ± 1.77 kg. Los tratamientos a comparar fueron cinco niveles de suplementación de Mn a una dieta base (0, 40, 200, 500 y 1000 mg kg⁻¹ MS). Para comportamiento productivo y concentración mineral en plasma se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial 5x3. El consumo de alimento se analizó mediante el procedimiento Mixed, en arreglo de medidas repetidas. La ganancia de peso catorcenal, conversión alimenticia, rendimiento en canal, punto GR y concentración mineral en plasma se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS; las medias se compararon por Tukey y las tendencias se evaluaron mediante contrastes ortogonales. La concentración mineral en tejidos cárnicos se analizó en un diseño completamente al azar, las

¹ Programa de Maestría en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5. Carretera México Texcoco. Chapingo, México. C.P. 56230. * Tel: 5959521684. carloss561@aol.com.

² Departamento de Agroindustrias, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5. Carretera México Texcoco. Chapingo, México. C.P. 56230.

medias para efectos principales se compararon por contrastes ortogonales para tratamientos no igualmente espaciados, mientras que para comparar los niveles de las interacciones se utilizó la opción PDIFF de LSMEANS en el procedimiento GLM de SAS. El nivel de suplementación de Mn incrementó ($P=0.02$) linealmente la conversión alimenticia, además, aumentó el consumo de alimento hasta 500 mg kg^{-1} MS y reducción del mismo con 1000 mg de Mn kg^{-1} MS; sin embargo, la ganancia de peso catorcenal, rendimiento en canal y punto GR se mantuvieron constantes. La concentración de Fe en plasma sanguíneo fue menor ($P=0.004$) con 1000 mg kg^{-1} MS y la concentración de Mn presentó un efecto cúbico ($P=0.01$); mientras que, las concentraciones de Mn en riñón ($P=0.001$) e hígado ($P=0.019$) fueron mayores con 1000 mg de Mn kg^{-1} MS. Se concluyó que los niveles de Mn en la dieta de corderos, no mejoran la ganancia de peso catorcenal, rendimiento en canal y punto GR, pero sí alteran consumo de alimento, conversión alimenticia y concentración mineral en tejidos.

Palabras clave: calidad, carne, grasa, ovinos, minerales.

MANGANESE IN PRODUCTIVE LAMB PERFORMANCE, TISSUE MINERAL CONCENTRATION AND CARCASS CHARACTERISTICS

ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate the inclusion of Mn in the feed rations of lambs in the finalization phase. The variables that were evaluated were: productive performance, mineral concentration in serum and meat tissues, carcass yield, and GR point. A total of 45 Criollo* Rambouillet lambs were used whose initial mean live weight was 26.26 ± 1.77 Kg per lamb. Treatments were five levels of Mn added to the basal diet: 0, 40, 200, 500 and 1000 mg kg^{-1} DM. With regards to productive behaviour and mineral concentration in the plasma, a completely random experimental design in a 5x3 factorial arrangement was used. Feed intake was analyzed through a mixed model in an experiment with repeated measurements. Two-week live weight gain, feed conversion, carcass yield, GR point and serum mineral concentration were analyzed with the GLM of SAS; means were compared with the Tukey test, and trends were evaluated through orthogonal contrasts. The mineral concentration in the meat tissues was analyzed in a completely random design; the means for main effects were compared by orthogonal contrasts for treatments not equally spaced, for the levels of the interactions was used the option PDIF of LSMEANS with the GLM of SAS. The feed conversion lineally increased ($P=0.02$) in relation to the addition of Mn; feed intake increased with up to 500 mg of Mn added and decreased thereafter. Nevertheless, two-week live weight gain, carcass yield and GR point were constant across the levels of added Mn. The Fe

concentration in serum was lower ($P=0.004$) at 1000 mg of added Mn, while the Mn concentration showed a cubic trend ($P=0.01$); Mn in kidney ($P=0.001$) and liver ($P=0.019$) was the highest at 1000 mg of added Mn. It was concluded that increased levels of Mn added to the lamb feed rations did not improve two-week live weight gain, carcass yield, or GR point, though there was an influence on feed intake, feed conversion and mineral concentration in tissues.

Keywords: quality, meat, fat, lambs, minerals.

INTRODUCCIÓN

La importancia nutricional del Mn ha sido extensivamente estudiada en varias especies animales como ratas, conejos, cerdos y pollos; sin embargo, en ovinos son escasos los estudios y en éstos, se han evaluado niveles de Mn relativamente bajos (Grace, 1973), por lo que aún no se conocen con precisión los requerimientos, ni el efecto biológico en ovinos engordados en confinamiento. Por otro lado, existen evidencias de que la inclusión de niveles de Mn en la dieta mayores al requisito de 20 mg kg⁻¹ MS establecido por la NRC (1985) para corderos en crecimiento, disminuyen la ganancia de peso y consumo de alimento, e incrementan la conversión alimenticia (en 31% con 3000 mg kg⁻¹ MS de Mn en la dieta); además de, provocar cambios en la absorción de Mn, Ca, P, Zn y Fe en algunos tejidos (Ivan e Hidirolou, 1980).

Los mecanismos por los que el exceso de Mn disminuye el crecimiento aún no son claros; estudios *in vitro* realizados por Cunningham *et al.* (1966) indican que es debido a cambios en la población microbiana del rumen la cual disminuye su capacidad para degradar celulosa, provocando efectos depresivos en las características productivas del animal. Sin embargo, aún no se conoce con precisión el nivel de Mn adecuado para obtener la mejor respuesta productiva, o para evitar efectos de antagonismo entre el Mn y otros minerales.

La información disponible del efecto de la suplementación de Mn en el rendimiento y composición de la canal es escasa y ésta se ha obtenido en otras especies animales, principalmente en cerdos, y los resultados obtenidos son contradictorios.

El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento productivo, concentración mineral en tejidos, rendimiento en canal y punto GR de corderos en finalización, alimentados con una dieta base suplementada con diferentes niveles de manganeso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las instalaciones de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. La investigación consistió en evaluar la suplementación de cinco niveles de Mn en una dieta base para corderos; los niveles fueron: 0, 40, 200, 500 y 1000 mg kg⁻¹ MS y como fuente de Mn se utilizó MnSO₄.

En el ensayo de alimentación, que duró 55 días, se utilizaron 45 corderos Criollo*Rambouillet de 26.26±1.77 kg. Al inicio, los corderos fueron identificados y pesados individualmente, se desparasitaron vía subcutánea con ivermectina (0.5 mL cordero⁻¹; Ivomec^{MR}), se vacunaron vía subcutánea contra *Clostridium perfringens* tipos C y D (2.5 mL cordero⁻¹; Ultrabac 7^{MR}). Los corderos se asignaron al azar a cada uno de los tratamientos y corraletas, se pesaron al inicio del experimento y cada 14 días con un ayuno previo de 12 horas.

En el Cuadro 3 se presenta la composición nutritiva determinada en laboratorio de la dieta base experimental utilizada para este estudio. El alimento se proporcionó *ad libitum*, ofreciendo 5% más del consumo de un día anterior, en tres ofrecimientos diarios, 40% a las 7:00 horas, 30% a las 13:00 horas y el 30% restante a las 17:00 horas. El consumo de alimento se registró diariamente y se obtuvo restando el alimento rechazado al alimento ofrecido.

Cuadro 3. Ingredientes y composición nutritiva de la dieta base experimental.

Ingrediente	% en dieta
Sorgo	65.5
Rastrojo	10
Cascarilla de soya	6
Melaza	5
Pasta de soya	6
Gluten de maíz	4
Aceite de soya	1.5
Mezcla mineral	1.0
CaCO ₃	0.5
Urea (46% nitrógeno)	0.5
Composición nutritiva determinada en laboratorio	
Materia seca, %	87.70
Proteína cruda, %	14.70
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹ MS**	2.88
Fibra cruda, %	7.64
Extracto etéreo, %	4.50
Cenizas, %	4.89
Manganeso*, mg kg ⁻¹ MS	59.76

* Los niveles de manganeso evaluados equivalen a 59.76 mg kg⁻¹ MS más el manganeso suplementado en cada uno de los niveles.

** Estimada

Concentración mineral de la dieta determinada en laboratorio: Cu, 10 mg kg⁻¹ MS; Zn, 30 mg kg⁻¹ MS; Fe, 66.4 mg kg⁻¹ MS; P, 0.4%; Ca, 0.93%; Mg, 0.24%; Na, 0.50%.

El sacrificio de los corderos se realizó en forma tradicional a la zona de estudio, inmediatamente después del sacrificio se registró el peso de la canal caliente y 10 horas más tarde, el peso de la canal fría. Se registró el peso y se tomaron muestras de aproximadamente 100 g de hígado, corazón, riñón, piernas, costillas, espaldillas y lomo+cuello, las cuales fueron almacenadas a -4 °C hasta la determinación de la concentración mineral. Inmediatamente

después del sacrificio de los corderos se realizó la medición del punto GR a 11 cm de la línea media de la columna vertebral, en la 12° costilla, auxiliándose con un vernier.

Al inicio, mediado y final del período experimental se tomaron muestras de sangre de la vena yugular de todos los corderos presentes en el estudio. Las muestras de sangre fueron centrifugadas para separar el plasma, el cual se almacenó a -4 °C hasta la determinación de la concentración mineral.

La determinación de los minerales Cu, Zn, Fe, Mg, Ca, Na, K en plasma sanguíneo y demás tejidos se realizaron por medio de espectrofotometría de absorción atómica; mientras que el P se determinó por medio de colorimetría. La concentración de Mn en plasma se determinó con la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, mediante el método de las adiciones, que consiste en agregar una cantidad conocida de Mn a la muestra de plasma para que la concentración se encuentre en el rango de lectura del espectrofotómetro. En los tres casos, las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Las variables de respuesta fueron las siguientes: consumo de alimento (kg MS animal⁻¹ día⁻¹); ganancia de peso catorcenal (kg); conversión alimenticia (consumo de alimento/ ganancia de peso); concentración mineral en plasma sanguíneo, en componentes de la canal (pierna, costilla, espaldilla y lomo+cuello) y en vísceras (hígado, corazón y riñón); medida del punto GR; y rendimiento de la canal caliente y fría.

Para evaluar el comportamiento productivo se tuvieron tres repeticiones, en donde la unidad experimental consistió en una corraleta, cada corraleta con tres corderos. Para evaluar el contenido mineral en plasma sanguíneo se tuvieron nueve repeticiones por tratamiento; para efecto de rendimiento en canal, concentración mineral en tejidos cárnicos y punto GR, se tuvieron tres repeticiones por tratamiento y en este caso la unidad experimental consistió de un cordero sacrificado.

Las variables de respuesta fueron analizadas utilizando el paquete estadístico SAS (2001). Para las variables ganancia de peso catorcenal, conversión alimenticia y concentración mineral en plasma sanguíneo se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial con cinco tratamientos y tres períodos, mientras que para consumo de alimento se consideró efecto de día. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + P_j + (TP)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde Y_{ij} = Valor de la variable respuesta; μ = Media general; T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento; P_j = Efecto del j-ésimo período; TP_{ij} = interacción del i-ésimo tratamiento y el j-ésimo período y ϵ_{ij} = Error experimental.

El consumo de alimento se analizó mediante el procedimiento Mixed de SAS en arreglo de medidas repetidas, mientras que la ganancia de peso catorcenal y conversión alimenticia se analizaron con el procedimiento GLM de SAS, usando como covariable el peso vivo inicial en la variable ganancia de

peso catorcenal. Las medias de las variables que conforman el comportamiento productivo, rendimiento en canal caliente, canal fría y punto GR se compararon por el procedimiento de Tukey, y los efectos lineales, cuadráticos y cúbicos se evaluaron mediante contrastes ortogonales para tratamientos no igualmente espaciados. En las variables de consumo de alimento y ganancia de peso catorcenal se obtuvieron ecuaciones de regresión, en las cuales se evaluaron los efectos lineales, cuadráticos y cúbicos; sin embargo, en la variable ganancia de peso catorcenal, las probabilidades de los coeficientes que conformaron la ecuación no resultaron significativos ($P>0.05$). La concentración mineral en tejidos cárnicos, rendimiento en canal caliente, en canal fría y punto GR se analizaron con el procedimiento GLM de SAS en un diseño completamente al azar desbalanceado. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta; μ = Media general; T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento; ϵ_{ij} = Error experimental.

Además, se consideró como covariable el peso vivo final para las variables de rendimiento en canal caliente, en canal fría y punto GR. En la concentración mineral en tejidos, las medias para efectos principales (niveles de manganeso y tejidos) se compararon mediante contrastes ortogonales, mientras que para

comparar los niveles de las interacciones se utilizó la opción PDIFF de LSMEANS en el procedimiento GLM de SAS (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En consumo de alimento se registró un efecto cuadrático ($P=0.01$, $R^2=0.309$) por causa del nivel de suplementación con Mn. Con 500 mg de Mn kg^{-1} MS el consumo de alimento se incrementó en 4.5% en relación con 0 mg de Mn kg^{-1} MS suplementado en la dieta; sin embargo, con 1000 mg de Mn kg^{-1} MS el consumo se redujo 9% en relación con el consumo registrado con la dieta suplementada con 500 mg de Mn kg^{-1} MS (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento productivo de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Variable+	Unidad	Nivel de manganeso (mg kg^{-1} MS)					EEM**
		0	40	200	500	1000	
PVi	kg	26.5a*	26.2a	26.3a	26.4a	25.7a	0.552
PVf	kg	40.5a	40.2a	40.7a	40.8a	38.2a	1.392
Consumo ^x	$\text{kg cor}^{-1}\text{día}^{-1}$	1.404b	1.367bc	1.386bc	1.471a	1.344c	0.067
GP	kg 14 días^{-1}	4.685a	4.796a	4.814a	4.796a	4.166a	0.372
Conversión ^y	Consumo GP^{-1}	4.281a	3.966a	4.110a	4.313a	4.803a	0.259
RCC	%	50.13a	48.04a	48.21a	49.09a	44.63a	1.961
RCF	%	48.72a	45.73a	46.85a	47.14a	43.10a	1.613
Punto GR	mm	13.9a	12.1a	13.8a	12.2a	10.9a	0.141

*abc Medias dentro de hileras con literal distinta son diferentes (Tukey; $\alpha=0.05$)

^xEfecto cuadrático ($P=0.01$, $R^2=0.309$); ^yEfecto lineal ($P=0.02$, $R^2=0.452$)

+PVi=Peso vivo inicial; PVf=Peso vivo final; GP=Ganancia de peso; RCC=Rendimiento en canal caliente; RCF=Rendimiento en canal fría

**Error estándar de la media

Además, a medida que transcurrieron los días de alimentación los corderos incrementaron linealmente ($P=0.01$, $R^2=0.309$) el consumo de alimento. Los resultados de este estudio permiten inferir que a partir de 500 mg de Mn kg^{-1} de MS suplementado en la dieta, los corderos disminuyen el

consumo de alimento (Figura 1), probablemente por la baja palatabilidad (Black *et al.*, 1985c) o por los cambios en la población microbiana del rumen, la cual reduce su habilidad para digerir celulosa y pueden ocasionar efectos depresivos en características productivas, causados por el alto nivel de Mn en la dieta (Cunningham *et al.*, 1966).

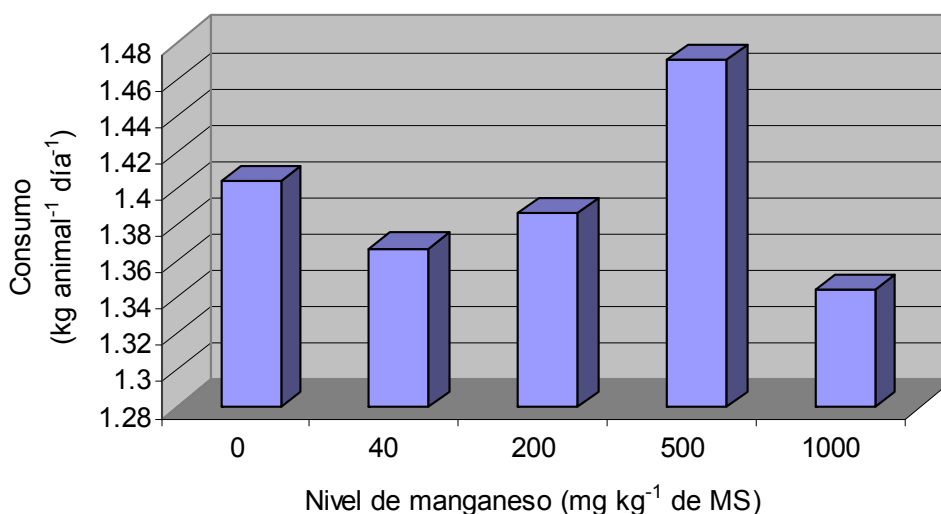


Figura 1. Consumo de alimento de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Black *et al.* (1985a) evaluaron niveles de Mn como MnO en dietas para corderos y observaron que con 2000 mg de Mn kg⁻¹ MS el consumo de alimento se redujo en 22% en comparación con 0 mg de Mn kg⁻¹ MS. Black *et al.* (1985b) encontraron una reducción del 36% en consumo de alimento de corderos al incrementar de 0 a 9000 mg de Mn kg⁻¹ MS en la dieta como MnO. Henry *et al.* (1992) al incrementar de 0 a 2700 mg de Mn kg⁻¹ MS como MnSO₄.H₂O en la dieta de corderos encontraron una disminución del 21.5% en consumo de alimento de corderos. Ivan e Hidiroglou (1980) encontraron que los

corderos no modificaron el consumo de alimento con niveles de hasta 3000 mg de Mn kg⁻¹ MS en la dieta.

Con la finalidad de establecer un modelo en consumo de alimento, se generó la siguiente ecuación de predicción en la que se incluyeron los efectos lineales, cuadráticos y cúbicos; además, todos los coeficientes que conformaron la ecuación resultaron significativos (Cuadro 5). Esta ecuación es válida hasta un nivel de suplementación con 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS y un intervalo de 55 días de engorda.

Ecuación de predicción ($R^2=0.981$) de consumo de alimento de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

$$\text{Consumo de alimento (kg cordero}^{-1} \text{ día}^{-1}) = -1.064280783 + 0.000014876 (\text{Mn})^2 - 0.000000016 (\text{Mn})^3 + 1.404348457 (\text{día})$$

Cuadro 5. Probabilidades de los coeficientes que conformaron la ecuación de predicción de consumo de alimento.

Variable	Pr>F
Intercepto	0.093
Manganeso*manganeso	0.019
Manganeso*manganeso*manganeso	0.013
Día	< 0.0001

La ganancia de peso catorcenal fue en promedio 4.65 kg 14 días⁻¹ sin observar diferencia (P=0.91) entre los niveles de Mn evaluados (Cuadro 4). Sin embargo, la ganancia de peso catorcenal disminuyó linealmente (P=0.05, $R^2=0.119$) a medida que transcurrió el período experimental. Similarmente, Robinson *et al.* (1960b) no observaron diferencias en ganancia de peso en ganado bovino para carne, al suplementar 0, 250, 500 y 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS como MnSO₄. Black *et al.* (1985a) observaron en corderos una baja en

consumo de alimento y ganancia de peso con altos niveles de Mn en la dieta (4000 y 8000 mg de Mn kg⁻¹ MS como óxido y carbonato de Mn, respectivamente); estos mismos autores indican que la reducción en ganancia de peso es resultado de la reducción en consumo de alimento causado por el alto nivel de Mn. Grace (1973) observó que corderos en pastoreo suplementados con 250 o 500 mg día⁻¹ tuvieron 36.5% menos de ganancia de peso que los corderos no suplementados. En la Figura 2 se muestra la ganancia de peso catorcenal de corderos suplementados con diferente nivel de Mn en la dieta.

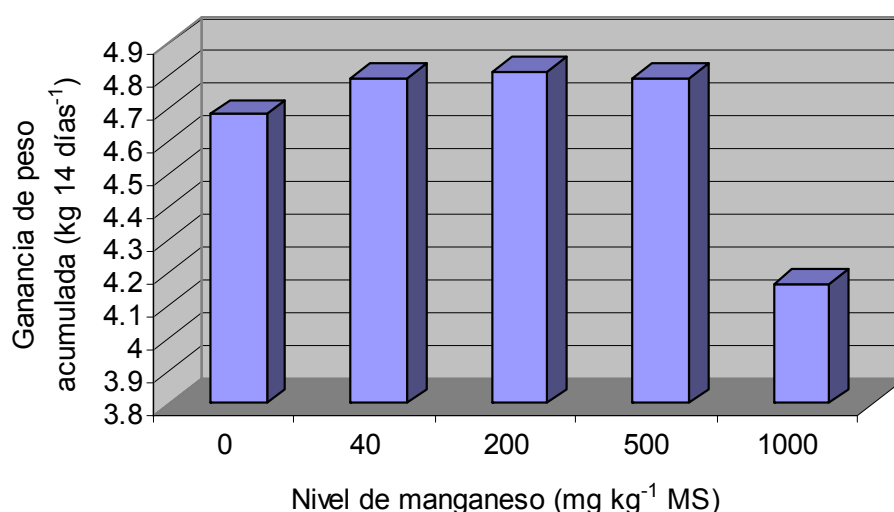


Figura 2. Ganancia de peso catorcenal de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta (promedio de tres períodos).

La conversión alimenticia mostró un efecto lineal ($P=0.02$, $R^2=0.452$) a incrementarse por causa del aumento de los niveles de Mn en la dieta (Cuadro 4). Similarmente, la conversión alimenticia se incrementó linealmente ($P=0.003$, $R^2=0.45$) a medida que transcurrió el período experimental. Ivan e Hidioglou

(1980) observaron que con 3000 mg de Mn kg⁻¹ MS los corderos disminuyeron la conversión alimenticia en 31% en comparación a la conversión alimenticia registrada con 22 mg de Mn kg⁻¹ MS en la dieta. Ivan y Grieve (1975) no encontraron diferencias en conversión alimenticia de toretes Holstein al suplementarlos con dietas con 50 mg de Mn kg⁻¹ MS en comparación con la conversión alimenticia registrada con dietas no suplementadas.

Los rendimientos en canal caliente (P=0.58) y fría (P=0.37) fueron en promedio de 48 y 46%, respectivamente, sin diferencia entre niveles de Mn evaluados (Cuadro 4). Grummer *et al.* (1950) observaron que el rendimiento en canal de cerdos es más alto con dietas suplementadas con 160 mg de Mn kg⁻¹ MS, comparados con cerdos alimentados con dietas no suplementadas. Plumlee *et al.* (1956) observaron que cerdos alimentados con dietas deficientes en Mn (0.5 mg de Mn kg⁻¹ MS) fueron visualmente más grasosos que cerdos alimentados con dietas con 40 mg de Mn kg⁻¹ MS. Adicionalmente, Christianson *et al.* (1989) encontraron que cerdas lactantes y gestantes tuvieron una tendencia a disminuir el espesor de grasa dorsal cuando fueron alimentadas con niveles altos de Mn (700 mg de Mn kg⁻¹ MS); sin embargo, cuando se alimentaron con niveles bajos de Mn (350 mg kg⁻¹ MS o menos), las canales tendieron a ser más grasosas y sin efectos benéficos sobre el tamaño de músculos.

El promedio de la medida del punto GR fue de 12.6 mm. No se encontró diferencia (P=0.63), ni una tendencia clara entre los niveles de Mn evaluados (Cuadro 4). Kirton y Johnson (1979), y Davies (1989) indican que la correlación de la medida GR con el porcentaje de grasa química contenida en la canal es

del 74% y del 25 al 50% en el contenido de músculo. La reducción por cada milímetro en la medida GR, equivale a una unidad porcentual menos en el grado de engrasamiento de la canal, un incremento en músculo del 0.5% y un aumento en 0.5% o menos en hueso (Kirton *et al.*, 1985). La medida GR obtenida en este estudio fue 31% mayor que la medida GR obtenida por Gianni *et al.* (2000), en base al peso de la canal caliente en razas cárnicas de sistemas de cruzamiento terminal; sin embargo, es 12.5% menor que la medida GR promedio obtenida por Bianchi *et al.* (2001) con corderos Corriedale puros y su cruce con razas cárnicas.

En el Cuadro 6 se presentan las probabilidades para efectos principales e interacciones en los minerales estudiados. El nivel de Mn suplementado influyó ($P=0.0003$) únicamente sobre la concentración de Mn en los tejidos; en cambio, las concentraciones de todos los minerales estudiados fueron diferentes ($P<0.05$) según el tejido. La interacción entre niveles de Mn y tejido fue significativo únicamente para el mineral Mn ($P=0.0032$). Por lo anterior, se discutirán únicamente los efectos principales de niveles de Mn y de tejido, excepto para Mn.

Cuadro 6. Probabilidades de efectos principales e interacciones para los diferentes minerales estudiados.

Mineral	Fuente de variación		
	Niveles de Mn	Tejido	Niveles de Mn x Tejido
	----- Pr>F -----		
Cu	0.9850	<0.0001	1.000
Fe	0.6463	0.0091	0.9619
Zn	0.9779	0.0007	0.9686
Mn	0.0003	<0.0001	0.0032
Na	0.4740	0.0003	0.8459
K	0.2228	0.0289	0.0630
Ca	0.9852	<0.0001	0.9392
P	0.7469	<0.0001	0.6903
Mg	0.9637	<0.0001	0.9844

Los niveles de Mn evaluados solamente influyeron en el incremento de la concentración de Mn en los tejidos. (Cuadro 7). Sin embargo, éste puede considerarse como un almacenamiento pasivo del Mn y solamente puede ser liberado como resultado de un proceso de reemplazamiento en el hueso o de una situación de reabsorción acelerada (Leach y Harris, 1997).

La concentración de Mn observada en los tejidos cárnicos de este estudio se encuentra dentro del rango de 0.5 a 3.9 mg kg⁻¹ MS observado por Suttle (1979) y Grace (1983). Por el contrario, Hidiroglou y Standish (1978) no encontraron diferencias en la concentración mineral de páncreas, riñón, músculo, hígado y corazón de ovejas, al estudiar el efecto de 8 y 68 mg de Mn kg⁻¹ MS suplementado en la dieta.

Cuadro 7. Concentración de minerales en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta (promedio de siete tejidos).

Mineral	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM*
	0	40	200	500	1000	
	----- mg kg ⁻¹ MS -----					
Cu	30.1	28.4	37.1	34.4	35.3	11.9
Fe	87.5	78.9	81.7	119.5	101.7	23.7
Zn	85.9	89.6	87.2	85.7	91.5	7.18
Mn^w	1.3	1.2	2.9	2.1	3.9	0.43
	----- mg (100 g) ⁻¹ MS -----					
Na	464.2	303.3	330.5	331.5	303.6	73.3
K	939.1	764.5	938.4	878.7	1871.2	333.1
Ca	33.8	31.1	33.7	33.7	30.7	5.1
P	696.4	645.4	697.7	674.2	743.4	46.3
Mg	58.2	55.5	60.1	58.9	58.6	4.07

^wEfecto lineal (P<0.0001, R² = 0.819); efecto cúbico (P= 0.006, R²= 0.819)

*Error estándar de la media

La concentración de todos los minerales en los tejidos fue diferente (P<0.05) dependiendo del tejido estudiado. Al realizar el contraste de tejido de vísceras (hígado, riñón y corazón) vs tejido muscular (espaldilla, L+C, pierna y costilla), únicamente los minerales Cu (P<0.0001, R²=0.719), Mn (P<0.0001, R²=0.819), Ca (P<0.0101, R²=0.813) y P (P=0.0001, R²=0.586) tuvieron mayor concentración en tejido de vísceras que en tejido muscular (Cuadro 8). La concentración de Cu y Mn en hígado fue 92.5 y 31.2% mayor respectivamente en relación al nivel máximo del rango normal reportado por Puls (1988); mientras que las concentraciones de Fe y Zn se encuentran dentro del rango adecuado. Las concentraciones de Mn en los tejidos musculares obtenidos en este estudio son menores a 1 mg kg⁻¹ MS, lo cual coincide con el rango normal reportado por Keen y Graham (1989). Hartmans (1972) encontró en hígado de bovinos una concentración de Mn mayor en 100% al valor encontrado en este estudio.

Cuadro 8. Concentración de minerales en tejidos de corderos en finalización (promedio de cinco niveles de manganeso en una dieta).

Mineral	Tejido							EEM**
	Corazón	Hígado	Riñón	Espaldilla	L+C*	Pierna	Costilla	
	----- mg kg ⁻¹ MS -----							
Cu^x	13.9	192.2	13.4	4.1	4.1	2.5	3.2	13.6
Fe	122.1	98.6	210.1	68.1	53.7	50.9	69.4	27.1
Zn	74.3	61.9	98.1	116.4	79.5	96.5	85.5	8.2
Mn^x	0.7	6.4	6.3	0.5	0.3	0.43	0.9	0.49
	----- mg (100 g) ⁻¹ MS -----							
Na	310.5	161.4	755.7	276.2	256.2	283.7	416.4	83.7
K	818.9	521.9	1064.1	1093.5	978.4	2025.2	705.7	380.4
Ca^x	40.9	16.8	115.4	21.9	11.9	11.6	12.2	5.73
P^x	683.4	778.5	1024.9	660.4	631.1	594.2	454.4	52.9
Mg	56.5	27.2	84.3	68.6	65.7	63.3	43.7	4.65

Se realizó el contraste de hígado, riñón y corazón vs espaldilla, L+C, pierna y costilla; resultando las siguientes significancias:

^x(P<0.01, R²>0.58)

*Lomo + Cuello

**Error estándar de la media

Las mayores concentraciones de Mn se registraron en hígado y riñón al suplementar a los corderos con 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS, siendo estas concentraciones superiores en más del 100% con respecto a las concentraciones de Mn proporcionadas por los demás niveles de Mn evaluados; mientras que la concentración más baja se presentó en lomo + cuello de los corderos que consumieron la dieta con 0 mg de Mn kg⁻¹ MS. Las concentraciones de Mn en riñón (P=0.001, R²=0.698) e hígado (P=0.019, R²=0.589) se incrementaron linealmente a medida que se aumentó el nivel de Mn en la dieta (Cuadro 9). En los demás tejidos estudiados, la concentración de Mn fue similar (P>0.05).

Los resultados de este estudio coinciden con lo indicado por Doyle y Spaulding (1978); Leach y Harris (1997) quienes mencionan que con bajos consumos de Mn, el Mn es uniformemente distribuido en todos los tejidos, debido a que el mecanismo homeostático mantiene constante la concentración. Sin embargo, con consumos excesivos de Mn, el Mn se acumula en mayor proporción en hígado y riñón, y menor cantidad en corazón y músculo; el hígado es el principal y más activo órgano de almacenamiento de Mn (Jenkins e Hidioglou, 1991; Carter *et al.*, 1974). Grace (1973) observó una disminución de contenido de Fe en corazón y un aumento en contenido de Cu y Mn en hígado, al incrementar los niveles de Mn suplementado de 0 a 500 mg kg⁻¹ MS en corderos en pastoreo. Watson *et al.* (1973) al incrementar de 30 a 4030 mg de Mn kg⁻¹ MS como MnCO₃ en la dieta de corderos, encontraron mayores (P<0.01) niveles de Mn en hígado, riñón, corazón, bazo, hueso y cerebro.

Por el contrario, Church *et al.* (2002) indican que el Mn no tiende a acumularse en concentraciones elevadas en hígado y otros tejidos cuando se ingiere en grandes cantidades a diferencia de los otros oligoelementos. Ivan y Grieve (1975) al suplementar a becerros con 50 mg de Mn kg⁻¹ MS observaron que la concentración de Cu en hígado fue mayor que en riñón o corazón, y la excreción urinaria de Mn se redujo por la suplementación de Mn en la dieta. Estos mismos autores mencionan que el Mn está asociado con un incremento en la concentración de Cu en hígado y una disminución en la excreción urinaria de Cu; esto indica que el Mn incrementa los sitios de fijación de Cu en el hígado; por lo tanto, incrementa la incorporación de Cu dentro del hígado y disminuye su eliminación en la orina (Howes y Dyer, 1971).

Cuadro 9. Media de mínimos cuadrados para concentración de manganeso en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)				
	0	40	200	500	1000
	----- mg kg ⁻¹ MS-----				
Riñón^x	4.13cd*	3.79cd	6.17c	6.77bc	11.86ab
Corazón	0.446d	1.014d	0.420d	0.721d	1.479d
Hígado^y	3.62cd	2.56d	9.24b	5.17cd	12.87a
L+C^{**}	0.134d	0.243d	0.431d	0.335d	0.403d
Espaldilla	0.362d	0.533d	0.906d	0.785d	.
Costilla	0.683d	0.205d	2.86d	0.326d	0.633d
Pierna	0.328d	0.299d	0.581d	0.372d	0.632d

*abcd Medias sin una literal en común son diferentes (P<0.05)

^xEfecto lineal (P=0.001, R²=0.698)

^yEfecto lineal (P=0.019, R²=0.589)

Error estándar de la media= 1.83

**Lomo + Cuello

Los niveles de Mn evaluados influyeron únicamente sobre la concentración de Fe ($P=0.004$) y Mn ($P=0.01$) en plasma sanguíneo (Cuadro 10). La mayor concentración de Fe se registró en los corderos alimentados con la dieta con 0 mg de Mn kg^{-1} MS, debido probablemente a que el exceso de Mn puede interactuar con algunas características del sistema de transporte de Fe (Leach y Harris, 1997). El exceso de Mn puede afectar el metabolismo del Fe inhibiendo la enzima 5-aminolevulinato sintasa, necesaria para la síntesis de hemoglobina, asociado con una alta actividad de la enzima MnSOD (Davis *et al.*, 1990). La concentración de Mn en plasma presentó un efecto cúbico ($P=0.0006$, $R^2=0.324$) por causa de los niveles de Mn evaluados. La concentración de Fe en plasma sanguíneo se incrementó ($P<0.01$, $R^2=0.381$) linealmente por causa del muestreo; además, presentó una interacción significativa de niveles de Mn por muestreo ($P=0.011$, $R^2=0.381$). Similarmente, la concentración de Ca se incrementó ($P=0.005$, $R^2=0.271$) linealmente en plasma sanguíneo por causa del muestreo; mientras que la concentración de Na ($P=0.036$, $R^2=0.214$) y la concentración de Cu ($P<0.01$, $R^2=0.405$) presentaron efectos cuadráticos, por causa del muestreo. La concentración de Mn en plasma presentó un efecto cuadrático ($P=0.003$, $R^2=0.324$) por causa del muestreo. La concentración de Cu, Ca, Mg, Na y Mn en plasma sanguíneo se ubican dentro del rango adecuado reportado por Puls (1988), mientras que la concentración de P es 12.5% más alta en relación al mismo autor. El nivel de Fe promedio fue mayor en un 60.3% en relación al nivel mínimo del rango normal.

La respuesta en concentración de minerales en plasma sanguíneo coincide con lo encontrado en los tejidos cárnicos analizados. A su vez, este patrón de respuesta es similar a lo señalado por Hidiroglou (1979) donde menciona que altos niveles de Mn pueden causar una disminución en el almacenamiento de Fe en el cuerpo y este puede ser afectado también por el consumo de Fe. Sin embargo, no coincide con Masters *et al.* (1988) quienes encontraron una relación positiva en el aumento de Mn en la dieta con un incremento en la concentración de Mn en plasma sanguíneo de corderos. Grace (1973) al incrementar el nivel de Mn suplementado de 0 a 500 mg kg⁻¹ MS en corderos en pastoreo, observó en plasma sanguíneo un incremento en el nivel de Mn y una disminución en el nivel de Fe; para las concentraciones de Na, K, Ca, Mg, P, Cu y Zn no encontró diferencias. Robinson *et al.* (1960a) al evaluar diferentes niveles de Mn en la dieta de ganado para carne, observaron que el exceso de Mn no tuvo efecto significativo en la retención de Ca o P en plasma sanguíneo, pero si disminuyó la absorción de Fe y la digestibilidad de la fibra.

Cuadro 10. Concentración mineral en plasma sanguíneo de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta (promedio de tres muestreos).

Mineral	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- µg mL ⁻¹ -----					
Cu	0.869a*	0.803a	0.838a	0.761a	0.810a	0.056
Fe	5.18a	3.82b	4.12ab	3.94b	3.89b	0.281
Mn^x	1.93a	1.77a	1.46a	2.03a	1.89a	0.189
	----- mg dL ⁻¹ -----					
P	9.07a	8.27a	8.47a	8.27a	7.64a	0.418
Mg	2.69a	2.56a	2.53a	2.51a	2.48a	0.096
Ca	12.87a	11.30b	12.15ab	12.03ab	12.0ab	0.487
Na	328.96a	327.8a	333.57a	334.44a	337.46a	13.99

*ab Medias dentro de hileras con literal distinta son diferentes (Tukey; α= 0.05)

^xEfecto cúbico (P=0.0006, R²=0.324); **Error estándar de la media

CONCLUSIONES

En la finalización de corderos, la variación en el nivel de Mn en la dieta no mejora la ganancia de peso catorcenal, rendimiento en canal caliente, en canal fría y punto GR; sin embargo, disminuye el consumo de alimento e incrementa la conversión alimenticia. Además, afecta la concentración de Fe y Mn en plasma sanguíneo, y Mn en riñón e hígado.

IMPLICACIONES

Con niveles de 500 a 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS en la dieta de los corderos, se observó una disminución lineal en consumo de alimento y un incremento en conversión alimenticia, por lo que es necesaria más investigación específicamente en ese rango de estudio para determinar el nivel máximo tolerable, ya que estos resultados indican un nivel en ovinos menor a 1000 mg de Mn kg⁻¹ MS. En investigaciones posteriores se sugiere que además de medir el punto GR, medir la conformación cárnica, grado de terminación y hacer disección completa de canales para determinar el porcentaje de carne, grasa y hueso, y correlacionar el punto GR con el estado de engrasamiento de las canales de corderos.

LITERATURA CITADA

- Bianchi G., G. Garibotto y O. Bentacur 2001. Evaluación de la sobrevivencia, características de crecimiento, peso de la canal y punto GR en corderos pesados Corriedale puros y cruza Texel Hampshire Down, Southdown y Suffolk. Arch. Med. Vet. 33(2):261-268.
- Black, J. R., C. B. Ammerman, and P. R. Henry. 1985a. Effects of high dietary manganese as manganese oxide or manganese carbonate in sheep. J. Anim. Sci. 60:861-866.
- Black, J. R., C. B. Ammerman, P. R. Henry, and R. C. Littell. 1985b. Influence of dietary manganese on tissue trace mineral accumulation and depletion in sheep. Can. J. Anim. Sci. 65:653-658.
- Black, J. R., C. B. Ammerman, and P. R. Henry. 1985c. Effect of quantity and route of administration of manganese monoxide on feed intake and serum manganese in ruminants. J. Dairy Sci. 68:433-436.
- Carter, J. C., W. J. Miller, M. W. Neathery, R. P. Gentry, P. E. Stake, and D. M. Blackmon. 1974. Manganese metabolism with oral and intravenous ⁵⁴Mn in young calves as influenced by supplemental manganese. J. Anim. Sci. 38:1284-1289.
- Christianson, S. L., F. R. Peo, Jr., and A. J. Lewis. 1989. Effects of dietary manganese levels on reproductive performance of sows. J. Anim. Sci. 67(Suppl. 1):251-252. (Abstr.).

- Church, D. C., W. G. Pond y K. R. Pond. 2002. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. Segunda edición. Editorial Limusa. 635 p.
- Cunningham, G. N., M. B. Wise, and E. R. Barrick. 1966. Effect of high dietary levels of manganese on the performance and blood constituents of calves. *J. Anim. Sci.* 25:532-538.
- Davies, A. S. 1989. The structure and function of carcass tissues in relation to meat production. *N. Z. Soc. Anim. Prod. Occasional publication. No. 11.* pp. 43-59.
- Davis, C. D., D. M. Ney, and J. L. Greger. 1990. Manganese, iron and lipid interactions in rats. *J. Nutr.* 120:507-513.
- Doyle, J. J., and J. E. Spaulding 1978. Toxic and essential trace elements in meat. A review. *J. Anim. Sci.* 47:399-419.
- Gianni B., G. Garibotto y O. Bentancur. 2000. Producción de corderos pesados precoces en sistemas de cruzamiento terminal con Romney Marsh y razas carniceras. *Cangüe.* 18:16-21.
- Grace, N. D. 1973. Effect of high dietary Mn levels on the growth rate and the level of mineral elements in the plasma and soft tissues of sheep. *N. Z. J. Agric. Res.* 16:177-180.
- Grace, N. D. 1983. Amounts and distribution of mineral elements associated with fleece-free empty body weight gains in grazing sheep. *N. Z. J. Agric. Res.* 26:59-70.
- Grummer, R. H., O. G. Bentley, P. H. Phillips, and G. Bohstedt. 1950. The role of manganese in growth, reproduction and lactation of swine. *J. Anim. Sci.* 9:170-175.

- Hartmans, J. 1972. Tracing and trating mineral disorders in cattle under field conditions. *In*: Hoekstra, W. G., J. W. Suttie, H. E. Granther, and W. Mertz (Eds.). Trace Elemnt Metabolism in Animals. Univ. Park Press, Baltimore. P. 261.
- Henry, P. R., C. B. Ammerman, and R. C. Littell. 1992. Relative bioavailability of manganese from a manganese-methionine complex and inorganic sources for ruminants. *J. Dairy Sci.* 75:3473-3478.
- Hidiroglou, M. 1979. Manganese in ruminant nutrition. *Can. J. Anim. Sci.* 59:217-236.
- Hidiroglou, M., S. K. Ho, and J. F. Standish. 1978. Effects of dietary manganese levels on reproductive performance of ewes and on tissue mineral composition of ewes and day-old lambs. *Can. J. Anim. Sci.* 58:35-41.
- Howes, A. D., and I. A. Dyer. 1971. Diet and supplemental mineral effects on manganese metabolism in newborn calves. *J. Anim. Sci.* 32:141-145.
- Ivan, M., and C. M. Grieve. 1975. Effects of zinc, copper, and manganese supplementation of high-concentrate ration on digestibility, growth, and tissue content of Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 58:410-415.
- Ivan, M., and M. Hidiroglou. 1980. Effect of dietary manganese on growth and manganese metabolism in sheep. *J. Dairy Sci.* 63:385-390.
- Jenkins, k. J., and M. Hidiroglou. 1991. Tolerance of the preruminant calf for excess manganese or zinc in milk replacer. *J. Dairy Sci.* 74:1047-1053.
- Keen, C. L., and T. W. Graham. 1989. Trace Elements *In*: Clinical Biochemistry of Domestic Animals. Fourth Edition. Edited by Kaneko J.J. Academic Press, Inc. 932 p.

- Kirton, A. H., and D. L. Johnson. 1979. Interrelationships between GR and other lamb carcass fatness measurement. Proceedings of the N. Z. Soc. Anim. Prod. 39:(Abstr.).
- Kirton, A. H., D. M. Duganzich, C. L. Feist, G. L. Bennett, and E. G. Woods. 1985. Prediction of lamb carcass composition from GR and carcass weight. Proceedings of the N. Z. Soc. Anim. Prod. 45:(Abstr.).
- Leach, R. M. Jr., and E. D. Harris 1997. Manganese *In*: O'Dell B. L., and R. A. Sunde (Ed.) Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements. Marcel Dekker, New York. 692 p.
- Masters, D. G., D. I. Paynter, J. Briegel, S. K. Baker, and D. B. Purser. 1988. Influence of manganese intake on body, Wool and testicular growth of young rams and on the concentration of manganese and the activity of manganese enzymes in tissues. Aust. J. Agric. Res. 39:517-524.
- NRC. 1985. Nutrient Requirements of Sheep. 6th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, D. C. 112 p.
- Plumlee, M. P., D. M. Thrasher, W. M. Beeson, F. N. Andrews, and H. E. Parker. 1956. The effects of a manganese deficiency upon the growth, development and reproduction of swine. J. Anim. Sci. 15:352-367.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health. Diagnostic data. 2^a Ed. Sherpa International, Clearbrook. 153 p.
- Robinson N. W., S. L. Hansard, D. M. Johns, and G. L. Robertson. 1960a. Excess dietary manganese and feedlot performance of beef cattle. J. Anim. Sci. 19:1290 (Abstr.).

- Robinson, N. W., S. L. Hansard, D. M. Johns, and G. L. Robertson. 1961b.
Response of growing calves on two protein levels to excess dietary
manganese. J. Anim. Sci. 20:977 (Abstr.).
- SAS. 2001. S.A.S. User's Guide: Statistics. SAS Institute, Inc., Cary, N.C.
- Suttle, N. F. 1979. Copper, iron, manganese and zinc concentrations in the
carcasses of lambs and calves and the relationship to trace element
requirements for growth. Br. J. Nutr. 42:89-96.
- Watson, L. T., C. B. Ammerman, J. P. Feaster, and C. E. Roessler. 1973.
Influence of manganese intake on metabolism of manganese and other
minerals in sheep. J. Anim. Sci. 36:131-136.

CAPÍTULO IV

LITERATURA CITADA GENERAL

- Abdelrahman, M. M., and R. L. Kincaid. 1993. Deposition of copper, manganese, zinc, and selenium in bovine fetal tissue at different stages of gestation. *J. Dairy Sci.* 76:3588-3593.
- Apple, J. K., W. J. Roberts, C. B. Maxwell, C. B. Boger, T. M. Fakler, K. G. Friesen, and Z. B. Johnson. 2004. Effect of supplemental manganese on performance and carcass characteristics of growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 82:3267-3276.
- ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. London England. 364 p.
- Baker, D. H., and K. M. Halpin. 1987. Research note: efficacy of a manganese-protein chelate compared with that of manganese sulfate for chicks. *Poultry Sci.* 66:1561-1563.
- Bianchi G., G. Garibotto y O. Bentacur 2001. Evaluación de la sobrevivencia, características de crecimiento, peso de la canal y punto GR en corderos pesados Corriedale puros y cruza Texel Hampshire Down, Southdown y Suffolk. *Arch. Med. Vet.* 33(2):261-268.
- Black, J. R., C. B. Ammerman, and P. R. Henry. 1985a. Effects of high dietary manganese as manganese oxide or manganese carbonate in sheep. *J. Anim. Sci.* 60:861-866.

- Black, J. R., C. B. Ammerman, P. R. Henry, and R. C. Littell. 1985b. Influence of dietary manganese on tissue trace mineral accumulation and depletion in sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 65:653-658.
- Black, J. R., C. B. Ammerman, and P. R. Henry. 1985c. Effect of quantity and route of administration of manganese monoxide on feed intake and serum manganese in ruminants. *J. Dairy Sci.* 68:433-436.
- Carter, J. C., W. J. Miller, M. W. Neathery, R. P. Gentry, P. E. Stake, and D. M. Blackmon. 1974. Manganese metabolism with oral and intravenous ^{54}Mn in young calves as influenced by supplemental manganese. *J. Anim. Sci.* 38:1284-1289.
- Christianson, S. L., F. R. Peo, Jr., and A. J. Lewis. 1989. Effects of dietary manganese levels on reproductive performance of sows. *J. Anim. Sci.* 67(Suppl. 1):251-252.(Abstr.).
- Church, D. C., W. G. Pond y K. R. Pond. 2002. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. Segunda edición. Ed. Limusa. 635 p.
- Colomer R., F. 1983. *Producción de Canales Ovinas Frente al Mercado Común Europeo*. Zaragoza España. 111 p.
- Cunningham, G. N., M. B. Wise, and E. R. Barrick. 1966. Effect of high dietary levels of manganese on the performance and blood constituents of calves. *J. Anim. Sci.* 25:532-538.

- Davidson, L., B. Lonnerdahl, B. Sandstrom, C. Kunz, and C. L. Keen. 1989. Identification of transferrin as the major plasma carrier protein for manganese introduced orally or intravenously or after *in vitro* addition in the rat. *J. Nutr.* 119:1461–1464.
- Davies, A. S. 1989. The structure and function of carcass tissues in relation to meat production. *N. Z. Soc. Anim. Prod. Occasional publication.* 11:43-59.
- Davis, C. D., D. M. Ney, and J. L. Greger. 1990. Manganese, iron and lipid interactions in rats. *J. Nutr.* 120:507-513.
- Doyle, J. J., and J. E. Spaulding. 1978. Toxic and essential trace elements in meat. A review. *J. Anim. Sci.* 47:399-419.
- Fly, A. D., O. A. Izquierdo, K. R. Lowry, and D. H. Baker. 1989. Manganese bioavailability in a Mn-methionine chelate. *Nutr. Res.* 9:901-910.
- Gianni B., G. Garibotto y O. Bentancur. 2000. Producción de corderos pesados precoces en sistemas de cruzamiento terminal con Romney Marsh y razas carniceras. *Cangüe.* 18:16-21.
- Grace, N. D. 1973. Effect of high dietary Mn levels on the growth rate and the level of mineral elements in the plasma and soft tissues of sheep. *N. Z. J. Agric. Res.* 16:177-180.

- Grace, N. D. 1983. Amounts and distribution of mineral elements associated with fleece-free empty body weight gains in grazing sheep. *N. Z. J. Agric. Res.* 26:59–70.
- Grummer, R. H., O. G. Bentley, P. H. Phillips, and G. Bohstedt. 1950. The role of manganese in growth, reproduction and lactation of swine. *J. Anim. Sci.* 9:170-175.
- Hartmans, J. 1972. Tracing and trating mineral disorders in cattle under field conditions. *In*: W. G. Hoekstra, J. W. Suttie, H. E. Granther, and W. Mertz (Eds.). *Trace Elemnt Metabolism in Animals*. Univ. Park Press, Baltimore. 748 p.
- Henry, P. R., C. B. Ammerman, and R. C. Littell. 1992. Relative bioavailability of manganese from a manganese methionine complex and inorganic sources for ruminants. *J. Dairy Sci.* 75:3473-3478.
- Hidiroglou, M. 1979. Manganese in ruminant nutrition. *Can. J. Anim. Sci.* 59:217-236.
- Hidiroglou, M., S. K. Ho, and J. F. Standish. 1978. Effects of dietary manganese levels on reproductive performance of ewes and on tissue mineral composition of ewes and day-old lambs. *Can. J. Anim. Sci.* 58:35-41.
- Howes, A. D., and I. A. Dyer. 1971. Diet and supplemental mineral effects on manganese metabolism in newborn calves. *J. Anim. Sci.* 32:141-145.

- Hurley, L. S., and C. L. Keen. 1987. Manganese *In*: Mertz W. (Ed.) Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Fifth Edition. Volume 1. Academic Press, Inc. 480 p.
- Ivan, M., and M. Hidirolou. 1980. Effect of dietary manganese on growth and manganese metabolism in sheep. *J. Dairy Sci.* 63:385-390.
- Ivan, M., and C. M. Grieve. 1975. Effects of zinc, copper, and manganese supplementation of high-concentrate ration on digestibility, growth, and tissue content of Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 58:410-415.
- Jenkins, k. J., and M. Hidirolou. 1991. Tolerance of the preruminant calf for excess manganese or zinc in milk replacer. *J. Dairy Sci.* 74:1047-1053.
- Keen, C. L., and T. W. Graham. 1989. Trace Elements *In*: Clinical Biochemistry of Domestic Animals. Fourth Edition. Edited by Kaneko J.J. Academic Press, Inc. 932 p.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A Review. *Proceedings of the A. Soc. Anim. Sci.* 10 p.
- Kirton, A. H., and D. L. Johnson. 1979. Interrelationships between GR and other lamb carcass fatness measurement. *Proceedings of the N. Z. Soc. Anim. Prod.* 39:184 (Abstr.).
- Kirton, A. H., D. M. Duganzich, C. L. Feist, G. L. Bennett, and E. G. Woods. 1985. Prediction of lamb carcass composition from GR and carcass weight. *Proceedings of the N. Z. Soc. Anim. Prod.* 45:63(Abstr.).

- Lassiter, J. W., and J. D. Morton. 1968. Effects of a low manganese diet on certain ovine characteristics. *J. Anim. Sci.* 27:776-779.
- Leach, R. M., Jr., and E. D. Harris. 1997. Manganese *In*: O'Dell B. L. and R. A. Sunde (Ed.) *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. Marcel Dekker, New York. 692 p.
- Masters, D. G., D. I. Paynter, J. Briegel, S. K. Baker, and D. B. Purser. 1988. Influence of manganese intake on body, wool and testicular growth of young rams and on the concentration of manganese and the activity of manganese enzymes in tissues. *Aust. J. Agric. Res.* 39:517-524.
- McDonald, P., R. Edwards y J. F. D. Greenhalgh. 1993. *Nutrición Animal*. Cuarta edición. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 571 p.
- McDowell, L. R. 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press, New York. 486 p.
- Miller, W. J. 1975. New concepts and developments in metabolism and homeostasis of inorganic elements in dairy cattle. A review. *J. Dairy Sci.* 58:1549-1560.
- NRC. 1980. *Mineral Tolerance of Domestic animals*. National Academy of Sciences, Washington, D. C. 577 p.
- NRC. 1985. *Nutrient Requirements of Sheep*. 6th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, D. C. 112 p.

- Plumlee, M. P., D. M. Thrasher, W. M. Beeson, F. N. Andrews, and H. E. Parker. 1956. The effects of a manganese deficiency upon the growth, development and reproduction of swine. *J. Anim. Sci.* 15:352-367.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health. Diagnostic data. 2^a Ed. Sherpa International, Clearbrook. 153 p.
- Robinson, N. W., S. L. Hansard, D. M. Johns, and G. L. Robertson. 1960a. Excess dietary manganese and feedlot performance of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 19:1290 (Abstr.).
- Robinson, N. W., S. L. Hansard, D. M. Johns, and G. L. Robertson. 1961b. Response of growing calves on two protein levels to excess dietary manganese. *J. Anim. Sci.* 20:977 (Abstr.).
- Rojas, M. A., I. A. Dyer, and W. A. Cassatt. 1965. Manganese deficiency in the bovine. *J. Anim. Sci.* 24: 664-667.
- SAS. 2001. S.A.S. User's Guide: Statistics. SAS Institute, Inc., Cary, N.C.
- Suttle, N. F. 1979. Copper, iron, manganese and zinc concentrations in the carcasses of lambs and calves and the relationship to trace element requirements for growth. *Br. J. Nutr.* 42:89-96.
- Underwood, E. J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. Second edition. CAB international. 413 p.
- Underwood, E. J. y N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. Tercera edición. Ed. Acribia. 637 p.

- Watson, L. T., C. B. Ammerman, J. P. Feaster, and C. E. Roessler. 1973.
Influence of manganese intake on metabolism of manganese and other
minerals in sheep. *J. Anim. Sci.* 36:131-136.
- Wedekind, K. J., E. C. Titgemeyer, A. R. Twardock, and D. H. Baker. 1991.
Phosphorus, but not calcium, affects manganese absorption and turnover
in chicks. *J. Nutr.* 121:1776-1786.
- Weiss, W. P., and M. T. Socha. 2005. Dietary manganese for dry and lactating
Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 88:2517-523.

CAPÍTULO V

APÉNDICES

Apéndice 1. Concentración mineral por muestreo en plasma sanguíneo de corderos (promedio cinco niveles de manganeso suplementado en la dieta).

Mineral	Muestreo			Promedio	EEM**
	***M1	M2	M3		
	$\mu\text{g mL}^{-1}$				
Cu	0.99a*	0.67b	0.75b	0.817	0.031
Fe	3.71b	4.00b	5.24a	4.195	0.229
Mn	1.96a	1.57a	2.00a	1.821	0.145
	mg dL^{-1}				
P	8.39a	8.30a	8.30a	8.342	0.446
Mg	2.49a	2.58a	2.60a	2.557	0.070
Ca	11.40a	12.33a	12.66a	12.073	0.465
Na	317.06a	346.48a	334.60a	332.462	10.10

*ab Medias dentro de hileras con literal distinta son diferentes (Tukey; $\alpha=0.05$)

**Error estándar de la media

***Muestreo

Apéndice 2. Rendimiento de componentes de canal y de tejidos en base al peso vivo al sacrificio de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Rendimiento&&&	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
Piel	12.8a*	14.3a	14.4a	14.1a	14.1a	1.801
Patas	2.92a	2.78a	2.85a	3.19a	3.01a	0.182
Cabeza	5.6a	6.67a	5.84a	5.91a	6.27a	0.444
TGI lleno	16.1a	15.6a	15.6a	15.8a	15.7a	1.051
TGI vacío	7.41a	6.9a	6.68a	6.97a	8.17a	1.036
Riñón	0.31a	0.29a	0.31a	0.32a	0.28a	0.024
Hígado	1.99a	1.99a	1.71a	2.05a	2.03a	0.117
Corazón	0.79a	0.78a	0.73a	0.79a	0.79a	0.066
Traquea+Pulmón	1.80a	2.14a	2.12a	2.18a	1.97a	0.155
Riñonada	2.54a	2.41a	3.26a	1.91a	1.95a	0.354
Pierna d&	7.58a	7.71a	7.83a	8.21a	7.34a	0.365
Pierna i&&	7.05a	7.12a	7.56a	7.21a	6.41a	0.418
Costilla d&	4.80a	3.94a	3.88a	4.02a	3.91a	0.406
Costilla i&&	4.79a	3.52a	4.11a	4.21a	3.72a	0.460
Espaldilla d&	5.10a	4.79a	4.85a	4.97a	4.35a	0.227
Espaldilla i&&	4.91ab	4.72ab	4.77ab	5.09a	4.25b	0.138
Lomo+Cuello	14.4a	13.8a	13.8a	13.6a	13.1a	0.442
Vaso	0.19a	0.22a	0.21a	0.25a	0.21a	0.017
Testículos	0.64a	0.97a	0.63a	0.68a	0.88a	0.143

&derecha; &&izquierda; &&&Porcentaje en base al peso vivo al sacrificio; *ab Medias dentro de hileras con literal distinta son diferentes (Tukey; $\alpha=0.05$); **Error estándar de la media

Apéndice 3. Concentración de cobre en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg kg ⁻¹ MS -----					
Riñón	14.8a*	12.8a	12.62a	12.68a	14.11a	3.13
Corazón	16.1a	10.57a	8.87a	17.68a	4.42a	3.64
Hígado	165.4a	160.6a	223.1a	197.5a	207.2a	83.61
L+C***	3.94a	5.87a	3.53a	3.50a	4.64a	0.54
Espaldilla	4.1a	3.65a	3.77a	5.07a	3.45a	0.65
Costilla	4.37a	1.94a	5.09a	1.91a	2.13a	1.63
Pierna	1.95a	3.75a	3.16a	2.60a	1.36a	0.89

*a Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; $\alpha=0.05$); **Error estándar de la media; *** Lomo + Cuello

Apéndice 4. Concentración de hierro en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg kg ⁻¹ MS -----					
Riñón	201.6a	151a*	144.6a	341.4a	117.2a	154.7
Corazón	121.6a	117.8a	107.1a	144.8a	104.4a	27.5
Hígado	84.7a	103.7a	85.1a	99.4a	133.0a	27.5
L+C***	50.9a	53.1a	52.9a	54.61a	57.8a	3.99
Espaldilla	54.1a	60.6a	55.3a	96.95a	57.4a	12.7
Costilla	55.1a	33.6a	60.6a	45.45a	187.5a	42.2
Pierna	44.7a	33.4a	66.2a	53.85a	48.8a	10.6

*a Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; α=0.05)

**Error estándar de la media

***Lomo + Cuello

Apéndice 5. Concentración de cinc en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg kg ⁻¹ MS -----					
Riñón	109.5a*	85.1a	101.8a	90.4a	103.6a	20.6
Corazón	75.3a	72.4a	64.2a	82.3a	74.1a	18.8
Hígado	54.5a	49.8a	69.8a	50.4a	96.4a	18.5
L+C***	79.1a	83.2a	76.8a	77.5a	84.1a	5.66
Espaldilla	107.6a	162a	102.1a	117.9a	102.1a	28.4
Costilla	80.6a	73.4a	94.3a	89.8a	82.8a	19.1
Pierna	94.7a	100.4a	101.3a	91.9a	97.2a	14.3

*a Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; α=0.05)

**Error estándar de la media

***Lomo + Cuello

Apéndice 6. Concentración de manganeso en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg kg ⁻¹ MS -----					
Riñón	4.13b*	3.79b	6.17ab	6.77ab	11.86a	1.28
Corazón	0.446a	1.014a	0.420a	0.721a	1.479a	0.45
Hígado	3.62a	2.56a	9.24a	5.17a	12.87a	2.23
L+C***	0.134a	0.243a	0.431a	0.335a	0.403a	0.13
Espaldilla	0.362a	0.533a	0.906a	0.785a	.	0.43
Costilla	0.683a	0.205a	2.86a	0.326a	0.633a	1.38
Pierna	0.328a	0.299a	0.581a	0.372a	0.632a	0.21

*ab Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; $\alpha=0.05$)

**Error estándar de la media

***Lomo + Cuello

Apéndice 7. Concentración de sodio en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg (100 g) ⁻¹ MS -----					
Riñón	829.1a	716.2a*	842.6a	686.9a	692.5a	147.8
Corazón	287.6a	320.2a	314.6a	331.9a	286.4a	78.9
Hígado	152.1a	113.98a	176.1a	143.0a	238.4a	46.1
L+C***	249.5a	186.65a	281.4a	312.1a	186.7a	65.3
Espaldilla	299.4a	324.31a	205.1a	329.8a	193.1a	52.3
Costilla	1091a	213.7a	270.7a	185.4a	287.2a	466.7
Pierna	336.9a	246.2a	222.8a	331.2a	238.2a	92.1

*a Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; $\alpha=0.05$)

**Error estándar de la media

***Lomo + Cuello

Apéndice 8. Concentración de potasio en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg (100 g) ⁻¹ MS -----					
Riñón	1288a	891a*	1146.3a	988.8a	941.8a	206.9
Corazón	847.9a	849.6a	805.0a	834.2a	734.9a	205.8
Hígado	463.7a	374.7a	649a	433.4a	743.5a	162.7
L+C***	936.7a	846.3a	1233.9a	984.6a	777.6a	209.1
Espaldilla	1195a	1170a	967.5a	1233a	774.8a	238.6
Costilla	779.3a	299.8a	793.8a	686.0a	908.6a	159.4
Pierna	1069a	915a	973a	991a	8216a	2279.8

*a Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; $\alpha=0.05$)

**Error estándar de la media

***Lomo + Cuello

Apéndice 9. Concentración de calcio en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg (100 g) ⁻¹ MS -----					
Riñón	129.6a	87.6a	135.9a	110.1a	101.8a	26.9
Corazón	37.1a*	52.8a	35.2a	42.6a	39.7a	14.1
Hígado	11.8a	7.5a	10.6a	30.8a	13.7a	16.1
L+C***	11.2a	11.4a	11.1a	13.8a	11.1a	1.72
Espaldilla	20.7a	38.7a	15.4a	18.2a	24.3a	6.29
Costilla	14.7a	9.1a	13.7a	9.6a	14.2a	2.44
Pierna	11.6a	10.3a	14.1a	11.1a	10.1a	1.87

*a Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; $\alpha=0.05$)

**Error estándar de la media

***Lomo + Cuello

Apéndice 10. Concentración de fósforo en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg (100 g) ⁻¹ MS -----					
Riñón	1148.6a	845a*	1102a	44.7a	1064a	141.9
Corazón	737.6a	634.6a	574.3a	782.2a	617.3a	107.8
Hígado	635.5a	649.1a	905.2a	662.8a	1164a	195.8
L+C***	614.8a	593.2a	649.5a	619.3a	689.9a	73.7
Espaldilla	710.4a	763.6a	590.5a	686.6a	534.6a	109.1
Costilla	416.2a	448.1a	485.8a	447.0a	486.2a	76.1
Pierna	607.6a	583.8a	576.3a	577.4a	645.1a	110.3

*a Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; $\alpha=0.05$)

**Error estándar de la media

***Lomo + Cuello

Apéndice 11. Concentración de magnesio en tejidos de corderos suplementados con diferente nivel de manganeso en la dieta.

Tejido	Nivel de manganeso (mg kg ⁻¹ MS)					EEM**
	0	40	200	500	1000	
	----- mg (100 g) ⁻¹ MS -----					
Riñón	88.4a*	67.8a	95.4a	83.9a	78.5a	9.09
Corazón	54.2a	54.9a	54.7a	61.3a	55.1a	14.05
Hígado	20.8a	18.9a	34.0a	24.0a	41.4a	9.45
L+C***	66.6a	67.7a	66.5a	62.1a	68.5a	8.19
Espaldilla	73.3a	80.9a	65.0a	68.5a	54.9a	12.65
Costilla	39.5a	38.7a	46.5a	43.3a	51.8a	7.56
Pierna	65.1a	59.9a	58.0a	69.4a	59.8a	12.51

*a Medias dentro de hileras con la misma literal son iguales (Tukey; $\alpha=0.05$)

**Error estándar de la media

***Lomo + Cuello

