



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

**DIGESTIBILIDAD APARENTE EN OVINOS
SUPLEMENTADOS CON TRES CONCENTRACIONES DE
ZINC**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA

ROBERTO DARÍO ARROYO REYES

DIRECTOR DE TESIS

M. C. EUTIQUIO SONÍ GUILLERMO

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Noviembre 2014



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

**DIGESTIBILIDAD APARENTE EN OVINOS
SUPLEMENTADOS CON TRES CONCENTRACIONES DE
ZINC**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA

ROBERTO DARÍO ARROYO REYES

DIRECTOR DE TESIS

M. C. EUTIQUIO SONÍ GUILLERMO

ASESORES

DR. MARCOS PÉREZ SATO

M.C. RAYMUNDO LIRA CASAS

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Noviembre 2014.

La presente tesis titulada **“DIGESTIBILIDAD APARENTE EN OVINOS SUPLEMENTADOS CON TRES CONCENTRACIONES DE ZINC”** fue realizada por el alumno **Roberto Darío Arroyo Reyes**, ha sido revisado y aprobado por el siguiente Consejo Particular, para obtener el grado de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

Unidad Académica de Ingeniería Agrohidráulica

Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: M. C. EUTQUIO SONÍ GUILLERMO

Asesor: Dr. MARCOS PÉREZ SATO

Asesor: M.C. RAYMUNDO LIRA CASAS

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Noviembre 2014

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado “**Producción Pecuaria Integral**” y de la Línea de Investigación: **Producción Integral de Rumiantes y no Rumiantes.**

Dedicatorias

A mis padres

Porque me cuesta imaginar cómo hubiese sido mi vida sin el amor de ustedes dos pero estoy segura que no sería tan feliz como lo estoy ahora, porque gran parte de mi felicidad es tenerlos en mi vida, son los mejores padres que alguien podría tener gracias por su apoyo y motivación.

A mis hermanos

Que aun que van transcurriendo los años me alegra ver que nuestros proyectos van floreciendo; ver el esfuerzo que hacen a diario para apoyarme en todo y gracias por esas grandiosas palabras brindadas a lo largo de estos años.

A los (a) Maestros y Doctores

Que luchan día a día en las aulas con la idea de innovar y cambiar la vida de los alumnos por un futuro provechoso y lleno de mejores oportunidades.

¡Muchas gracias!

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
Resumen.....	III
Abstrac.....	IV
I INTRODUCCIÓN.....	1
II OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
III HIPÓTESIS.....	3
IV REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Fisiología digestiva.....	4
4.1.1 Saliva.....	5
4.1.2 Esófago.....	6
4.1.3 Rumen y retículo.....	6
4.2 Metabolismo del Zinc.....	8
4.3 Requerimientos nutricionales.....	9
4.4 Absorción del Zinc.....	9
4.5 Captación tisular y almacenamiento del Zinc.....	10
4.6 Control homeostático y homeorrectico del metabolismo del Zinc.....	12
4.7 Excreción del Zinc.....	15
4.8 Contenido de Zinc en los alimentos.....	15
4.9 Deficiencia de Zinc.....	16
4.10 Toxicidad de Zinc.....	17
4.11 PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD.....	18
4.11.1 DIGESTIBILIDAD <i>in vivo</i> :.....	18
4.11.2 DIGESTIBILIDAD <i>in situ</i> :.....	22
4.11.3 DIGESTIBILIDAD <i>in vitro</i>	23
4.12 Marcadores.....	24
4.13 Consumo de agua diario.....	26

V MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
5.1 Localización del experimento	27
5.2 Establecimiento del experimento	28
5.3 Procedimiento experimental	30
5.4 Distribucion de los tratamientos	30
5.5 Variables a evaluar	30
5.7 Análisis estadístico	33
VI RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	34
VII CONCLUSIONES.....	45
VIII LITERATURA CITADA.....	46
IX ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

Título	Pág.
Cuadro 1. Porcentajes de la capacidad de los compartimientos del estómago de los animales.	8
Cuadro 2. Requerimientos minerales (normal y rango) sugeridos y máximo tolerables para ovinos (ppm).	9
Cuadro 3. Consumo de agua.	27
Cuadro 4. Composición de la dieta.	29
Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del pH de líquido ruminal en ovinos según tratamiento y periodo.	36
Cuadro 6. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del pH de líquido duodenal en ovinos según tratamiento y periodo.	38
Cuadro 7. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del pH de heces en ovinos según tratamiento y periodo.	39
Cuadro 8. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del pH de orín en ovinos según tratamiento y periodo.	41
Cuadro 9. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del consumo de agua (lts) en ovinos según tratamiento y periodo.	42
Cuadro 10. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar de la digestibilidad aparente (%) en ovinos según tratamiento y periodo.	44
Cuadro 11. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del consumo de alimento (g) en ovinos tratamiento y periodo.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Título	Pág.
Figura 1. Procesos adaptativos implicados en la homeostasis del zinc.	14
Figura 2. Ubicación del Colegio De Postgraduados Campus Montecillos, Texcoco, México.	28
Figura 3. Ración del alimento para cada animal.	56
Figura 4. Comederos de plástico en cada una de las jaulas metabólicas.	56
Figura 5. Pañal de tela para la recolección de heces.	56
Figura 6. Obtención de líquido duodenal.	56
Figura 7. Obtención de líquido ruminal.	57
Figura 8. Obtención de orina.	57
Figura 9. Medición del consumo de agua.	57
Figura 10. Estufa de secado y pañal de recolección de heces para la determinación de digestibilidad aparente.	58
Figura 11. Ración de alimento y consumo.	58

Resumen

El zinc es un elemento esencial para el organismo animal, además de ser un activador de más de doscientos sistemas enzimáticos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la digestibilidad aparente en ovinos, utilizando tres niveles diferentes de zinc. Se usaron 12 ovinos machos de la craza kahtadin vs pelibuey de un 1 año de edad, distribuidos en un diseño experimental completamente al azar; en el área experimental de ovinos del colegio de postgraduados campus Montecillos, Texcoco, México, manejando inclusiones de zinc de 25 ppm (T₁), 80 ppm (T₂) y 400 ppm (T₃), el alimento y el agua fueron controlados para la obtención de datos a evaluar, con un periodo previo de adaptación de 15 días a la dieta, las variables a evaluar fueron las siguientes: consumo de alimento (CA), digestibilidad aparente (DA), consumo diario de agua (CDA), pH de líquido ruminal (pHLR), pH de líquido duodenal (pHLD), pH de heces (pHDH) y pH de orina (pHDO), los resultados indican que se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para las siguientes variables por efecto de las diferentes concentraciones de zinc, CA T₁ (b 0.616 g), T₂ (ab 0.632 g), T₃ (a 0.680 g), DA T₁ (a 74.74 %), T₂ (ab 76.80 %), T₃ (b 78.14 %), CDA T₁ (a 1.90 Lts), T₂ (ab 2.39 Lts), T₃ (b 2.58 Lts), pHLR T₁ (b 6.23), T₂ (a 6.04), T₃ (a 6.08), pHDO T₁ (a 5.51), T₂ (b 5.75), T₃ (a 5.57), para las variables, pHLD T₁ (2.31), T₂ (2.77), T₃ (2.31), pHDH T₁ (7.68), T₂ (7.71), T₃ (7.81), no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$), por lo anterior se concluye que existen parámetros que responde a la suplementación de Zinc; en comparación con otros, por lo que se sugiere seguir investigando diferentes concentraciones de zinc para mejorar todos los parámetros de las variables antes mencionadas.

Palabras clave: Zinc, suplementación, ovinos, kahtadin vs pelibuey.

Abstrac

Zinc is an essential element to the animal organism, as well as being an activator of over two hundred enzyme systems. The aim of this investigation was to evaluate the apparent digestibility in sheep, using three different levels of zinc. 12 male sheep crossing the kahtadin pelibuey vs a 1 year old, distributed in a completely randomized experimental design was used; in the experimental area of sheep college postgraduate campus slides, Texcoco, Mexico, driving inclusions zinc 25 ppm (T1), 80 ppm (T2) and 400 ppm (T3), food and water were monitored to obtain data to assess in a previous period of 15 days adaptation to the diet, the variable assessed were: feed intake (CA), apparent digestibility (AD), daily water consumption (CDA), pH liquid rumen (pHLR), pH of duodenal fluid (pHLD), stool pH (pHDH) and pH of urine (pHDO), the results indicate that significant differences ($p < 0.05$) for the following variables were found for the effect of different concentrations zinc, CA T1 (b 0.616 g), T2 (ab 0.632 g), T3 (a 0.680 g), DA T1 (a 74.74%), T2 (ab 76.80%), T3 (b 78.14%), CDA T1 (a 1.90 liters), T2 (ab 2.39 liters), T3 (b 2.58 liters), pHLR T1 (b 6.23), T2 (a 6.04), T3 (a 6.08), pHDO T1 (a 5.51), T2 (b 5.75), T3 (a 5.57), for the variables, pHLD T1 (2.31), T2 (2.77), T3 (2.31), pHDH T1 (7.68), T2 (7.71), T3 (7.81), no significant differences ($P > 0.05$) were found, therefore, concludes that there are parameters that answers Zinc supplementation; compared to others, so it is suggested to further investigate different concentrations of zinc to enhance all parameters of the above variable.

Keywords: Zinc, supplementation, sheep, kahtadin vs pelibuey.

I INTRODUCCIÓN

El zinc es un elemento esencial para el organismo animal, además de ser un activador de más de doscientos sistemas enzimáticos involucrados en el metabolismo de las proteínas, hidratos de carbono, ácidos nucleicos, lípidos y en la estabilidad de las membranas biológicas (Church *et al.*, 2002). La ingestión de los alimentos y su regulación es un fenómeno biológico completo influido por múltiples factores que la controla o limitan, especialmente cuando se ingieren alimentos forrajeros como lo es en los rumiantes (Ingsvarlsen y Andersen, 2000).

Las pruebas inequívocas de que el Zn es un nutriente esencial para los animales fue descubierto por primera vez por Todd *et al.*, (1994), quienes trabajaron con ratas. Sin embargo, su importancia práctica para los animales de granja no fue reconocida hasta el año de 1995, a partir de los trabajos de Toker y Salmon realizados en cerdos. La deficiencia experimental de Zn fue descrita por primera vez en ovinos por Ott *et al.*, (1999) y en caprinos por Miller *et al.*, (1994). También existen informes de casos de deficiencia clínica de Zn ocurridos naturalmente en ovinos (Pierson, 1996) y en caprinos (Mcdowell, 1992). Los signos clínicos y las consecuencias producidas de una deficiencia de Zn pueden explicarse a partir de las innumerables funciones que cumple este mineral en el organismo del animal. A nivel enzimático el Zn cumple tres tipos de funciones: catalítica, estructural y coactivador; en trabajos realizados con animales del sexo masculino, la deficiencia del Zn produjo una disminución de la espermatogénesis y de la síntesis de la testosterona por las

células de Leyding (McDowell, 1992). Actualmente se sabe que la absorción del Zn en rumiantes como en no rumiantes se lleva a cabo en el intestino delgado (Miller y Cragle, 1995), aunque se tienen evidencias de que la absorción del zinc en el rumen de ovinos es mayor que en intestino delgado (Arora *et al.*, 2000). La mayor parte de la excreción del Zn en los rumiantes se realiza a través de las heces y una muy pequeña parte en la orín (Miller, 1994). El objetivo de este trabajo de investigación fue suplementar a tres grupos de ovinos con tres diferentes concentraciones de Zn inorgánico para conocer su digestibilidad.

II OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la digestibilidad y pH en ovinos, utilizando diferentes concentraciones de zinc inorgánico.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Medir el consumo diario de agua con diferentes concentraciones de zinc.
2. Medir pH en duodeno, rumen, orina y heces mediante diferentes concentraciones de zinc.
3. Evaluar el efecto de la digestibilidad aparente mediante diferentes concentraciones de zinc.

III HIPÓTESIS

- Adicionar zinc en la dieta de ovinos mejora la digestibilidad sin afectar su pH.

IV REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Fisiología digestiva

Los rumiantes se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pasto o forraje; esta característica se basa en la posibilidad de poder degradar los hidratos de carbono estructurales del forraje, como celulosa, hemicelulosa y pectina, muy poco digestibles para las especies no-rumiantes. Basada en esta diferencia fundamental, la fisiología digestiva del rumiante adquiere características particulares, como la degradación del alimento que se realiza en su mayor parte por digestión fermentativa y no por acción de enzimas digestivas (Cirio, 2000).

Los procesos fermentativos los realizan diferentes tipos de microorganismos a los que el rumiante aloja en sus divertículos estomacales (DE). Por esta razón se tiene presente que al alimentar a los rumiantes primero estamos alimentando a los microorganismos rúmiales, y que para su buen desarrollo tiene que haber un medio ruminal favorable para ello. De esta forma se realiza una simbiosis entre las bacterias y el animal (D'Mello, 2000).

Esta digestión fermentativa favorece al rumiante al permitirle degradar los hidratos de carbono estructurales, y por lo tanto también afecta la digestión de todos los demás componentes de la dieta los cuales también están expuestos a los mismos procesos fermentativos (D'Mello, 2000).

La digestión fermentativa requiere del desarrollo adaptativo del estómago del rumiante. En un rumiante adulto el estómago puede llegar a ocupar hasta el 75 % de la cavidad abdominal y

junto con su contenido representa alrededor del 30 % del peso vivo del animal. Se divide en cuatro cavidades: el retículo (red o redecilla), el rumen (panza), el omaso (librillo) y el abomaso (cuajar). Solo este último es glandular y funcionalmente análogo al estómago de los no-rumiantes, mientras que los anteriores están cubiertos por un epitelio queratinizado y carecen de glándulas (Swjrsen *et al.*, 2006).

La primera porción del conducto alimenticio está formado por la boca, que contiene la lengua y los dientes. La lengua de los rumiantes es especialmente larga en su porción libre y cubierta por diferentes tipos de papilas que le dan una marcada aspereza y la convierten en el principal órgano de aprehensión (Cirio, 2000).

4.1.1 Saliva

Este órgano posee distintos tipos de glándulas como son las parótidas, molares, bucales, palatinas, sublingual, submaxilar, labial, faríngea; pero se pueden clasificar según el tipo de secreción en mucígenas y alcalígenas (Cirio, 2000). La secreción mucilaginosas tiene por objeto humedecer el bolo y facilitar la masticación y la deglución mientras que la saliva alcalina, formada especialmente por carbonatos, bicarbonatos y fosfatos mantiene el pH del rumen en un rango estrecho, cercano al pH neutro, y actúa del mismo modo que el bicarbonato que se toma habitualmente para evitar la acidez estomacal. Además la saliva contiene urea lo que permite mantener un nivel de nitrógeno más o menos constante en el rumen. La secreción salival de los rumiantes es muy abundante y variable. Se calcula que en bovinos oscila entre 90 y 190

litros por día según el tipo de dieta; en ovinos varía entre 5 y 16 litros por día. La mayor parte de esta abundante secreción proviene de las glándulas alcalígenas. Por lo cual cuando se generan ligeras presiones en el rumen se estimulan la secreción salival, mientras esta presión aumente cada vez más acelerara este proceso (Cronje, 2000).

4.1.2 Esófago

Es un tubo musculoso, que va desde la faringe hasta el cardias del estómago, esta inervado, de tal manera que impulsa el bolo alimenticio hacia el estómago, a este movimiento se denomina peristaltismo. El antiperistaltismo en los rumiantes es una función disfuncional (eructo y vómito). Este verdadero tubo pasa entre los pulmones en el sector llamado mediastino y atraviesa el diafragma en un punto llamado hiato esofágico (Cronje, 2000).

El bolo eructo pasa junto con la saliva a la faringe que es un pasaje común a las vías respiratorias y digestivas que baja al estómago por el esófago. Está formado por 3 capas de las cuales la intermedia muscular, produce ondas que facilitan el traslado del bolo (Swjrsen *et al.*, 2006).

4.1.3 Rumen y retículo

El estómago es normalmente un saco que comienza en el extremo del esófago (cardias) y termina en el duodeno. En los rumiantes este saco se halla dividido en cuatro compartimentos denominados rumen, retículo, omaso y abomaso.

El rumen es uno de los compartimientos con mayor volumen con una capacidad que puede llegar a más de 200 litros en vacunos;

este saco se encuentra formado por una membrana mucosa recubierto por un epitelio escamoso, estratificado y cornificado que representa papilas y rodeado por una capa muscular que es la que produce las contracciones. En su interior presenta pliegues o pilares que los dividen en cinco sacos: dorsal, anterior, ventral, ciego dorsal y ciego ventral (Swenson, 1999).

El rumen y el retículo se encargan de realizar la remoción de desechos y microorganismos a través un patrón complejo de contracciones que se originan en el retículo; además de que el retículo recolecta el alimento que ha sido fermentado para transportarlo hacia el omaso; donde las contracciones del retículo y rumen también participan en el eructo. Debido a la fermentación ruminal, se producen diferentes gases, cerca de 30-50 litros/hora en un bovino adulto y 5 litros/hora en un borrego adulto (Swenson *et al.*, 2006).

Sin embargo el papel que desarrolla el omaso es de separar todo el material solido del contenido ruminal que capta este mismo, donde las partículas del alimento son retenidas entre sus papilas y después son impulsadas hacia el abomaso mediante sus contracciones que suceden en el rumen (Swenson *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Porcentajes de la capacidad de los compartimientos del estómago de los animales.

<i>Compartimiento</i>	<i>Capacidad (% Del Total)</i>			
	<i>Bovino</i>	<i>Ovino</i>	<i>Equino</i>	<i>Cerdo</i>
<i>Estomago Total</i>	70.8	66.9	8.5	29.2
<i>Rumen-Retículo</i>	60.2	57.4	-	-
<i>Librillo</i>	5.3	2	-	-
<i>Cuajar</i>	5.3	7.5	-	-
<i>Intestino</i>				
<i>Delgado</i>	18.5	20.4	30.2	33.5
<i>Ciego</i>	2.8	2.3	15.9	5.6
<i>Colon y Recto</i>	7.9	10.4	45.4	37.7
<i>Cápac. Total (Litros)</i>	356	44	211	27

Fuente: Dukes.2006

4.2 Metabolismo del Zinc

De la ingestión de Zn se absorbe solo del 5 al 40 %, un 1/3 en abomaso y el resto en intestino delgado, después es transportado al hígado en donde se metaboliza, se almacena por saturación intracelular; primero en músculos, después en hígado, páncreas y riñón, se excreta principalmente por las secreciones del páncreas, en heces, y en el sudor (Sweson, 1999).

Participa en el metabolismo de los ácidos nucleicos, consecuentemente en la reproducción celular, por ello forma parte importante de las células con mayor desgaste (piel, pelo, cuernos, pesuñas, cornea del ojo, mucosa del tracto digestivo, entre otras). Es componente indispensable en más de 100

enzimas. La utilización de aminoácidos en la síntesis de proteínas es incompleta en deficiencia de Zn (Church, 2002).

4.3 Requerimientos nutricionales

El requerimiento de Zn para ganado de carne: en desarrollo, engorda, gestación o lactancia es de 30 ppm (NRC 2007). Para ganado lechero en producción; 50 a 70 ppm, vacas secas 60 a 80 ppm. Y para ovinos es de 20 a 33 ppm. El requerimiento de Zn en ganado, depende de la edad y de su productividad, de la calidad de la proteína en la dieta, y de la cantidad de calcio (Pond *et al.*, 2002). El requerimiento del Zn puede variar de acuerdo al criterio utilizado.

Cuadro 2. Requerimientos Minerales (Normal y Rango) Sugeridos y Máximo tolerables Para Ovinos (ppm).

<i>Elemento</i>	<i>Normal</i>	<i>Rango</i>	<i>Máximo</i>
<i>Azufre</i>	<i>0.2</i>	<i>0.14-0.26</i>	<i>0.4</i>
<i>Cobalto</i>	<i>0.11</i>	<i>-</i>	<i>10</i>
<i>Cobre</i>	<i>5</i>	<i>8-25</i>	<i>25</i>
<i>Yodo</i>	<i>0.5</i>	<i>0.1-0.8</i>	<i>50</i>
<i>Zinc</i>	<i>-</i>	<i>35-50</i>	<i>300</i>

Fuente: NRC, 2007.

4.4 Absorción del Zinc

En monogástricos la absorción del Zn se lleva a cabo en el intestino delgado. En rumiantes, actualmente se admite que en el intestino delgado también es el principal sitio donde se absorbe el Zn; aunque existen evidencias de que en ovinos la absorción de Zn se lleva más en el rumen que en el intestino delgado (McDowell, 1992).

La absorción del Zn se puede dividir en dos eventos separados; el primero captación del Zn y el segundo es el transporte desde la célula hacia la sangre; la cual es disminuida por el contenido de fitatos de la dieta. El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) compite con el fitato mejorando la asimilabilidad del Zn. La adición de EDTA aumenta 10 veces la excreción de Zn (McDowell *et al.*, 1993).

En rumiantes es muy escasa acerca de los factores que afectan la absorción o la utilización del Zn. El efecto inhibitorio de los fitatos existe para los animales con rumen funcional, y eso solo puede tener importancia practica cuando se usan sustitutos lácteos en terneros, en los que parte de la proteína es aportada por fuentes vegetales (Cirio, 2000).

4.5 Captación tisular y almacenamiento del Zinc

Cerca del 30 al 40 % del Zn que entra en el sistema portal es extraído por el hígado, para que luego por subsecuentemente liberado a la sangre donde es utilizada para su liberación. Las fluctuaciones del Zn dietario causan pequeños cambios en la concentración hepática del metal. La concentración intracelular del Zn es mantenida gracias a la acción concertada de varias hormonas; aunque se han realizados pocos estudios sobre la captación hepática del Zn, se piensa que es un proceso que requiere energía y que constan de dos etapas. La primera etapa es una fase de captación rápida, probablemente mediada por un transportador, y que representa la unión inicial a los sitios específicos de la membrana plasmática; la segunda es una fase de acumulación a una tasa mucho más lenta. En el hepatocito, el Zn se encuentra a nivel de distintas fracciones subcelulares, principalmente a nivel del núcleo (núcleo -

proteínas) y al citosol (metaloenzimas - metalotioneína) (Baker *et al.*, 1995).

La administración oral o parental del Zn se asocia a una inducción del gen de la metaloneína hepática, y a una acumulación de Zn en hígado unido a esta proteína. Se ha estimado en ensayos *in vitro*, que en situaciones en que se compite por un consumo normal del Zn, ocurre un recambio casi total en el hepatocito en un término de 30 horas. No se conoce con exactitud los ligandos plasmáticos a los que es transferidos el Zn luego de su reflujo del hígado, pero probablemente sean la albumina y algunos aminoácidos. Hasta el momento se sabe muy poco acerca de la captación del Zn en los tejidos extrahepáticos (Chirase *et al.*, 1994).

La metalotioneína es sintetizada en varios órganos además del intestino. Incluyendo el hígado, páncreas, riñón, piel, etc., tanto en monogástricos como en los rumiantes. La función de la metalotioneína no está exactamente definida, pero han sido demostrados que puede funcionar como amortiguador ante niveles excesivos o tóxicos de algunos metales como el Hg, Cd, Zn, Cu. También funciona como un donante de Zn para las metaloenzimas, y como un elemento de los mecanismos de defensa del organismo (Counsins *et al.*, 1994).

El papel detoxificante de la metalotioneína queda de manifiesto cuando se administran altos niveles de Zn en la dieta (White *et al.*, 1994). En trabajos que se realizaron en bovinos y ovinos, demostraron que el Zn, en estos casos se une principalmente a la metaloteína que se encuentra en el hígado, riñón, intestino y páncreas. Hallaron en ovejas que una dosis alta de óxido de zinc (ZnO) en la dieta provocaba un aumento de las isoformas de la metalotioneína I y II en riñón e hígado, pero no en intestino (Lee *et al.*, 1999).

Trabajos realizados en ratones, se reconoce que la metalotioneina puede servir como un pool de Zn biológicamente disponible para periodos de deficiencia del mineral, siempre que la deficiencia no sea de larga duración. La síntesis de la metaloteineina está bajo regulación hormonal, y es estimulada por los glucocorticoides, el glucagón, la adrenalina y la interleukina, hormonas que llevan a una acumulación hepática del Zn y una disminución del Zn plasmático (Lee *et al.*, 1999).

El estrés de distintos orígenes, por calor, trauma físico, excesivo ejercicio, infección aguda o endotoxemia tiene un efecto marcado sobre el metabolismo del Zn, a través de una inducción de la síntesis de la metalotioneina por medio de los mecanismos hormonales mencionados (Lee *et al.*, 1999).

4.6 Control homeostático y homeorrectico del metabolismo del Zinc

La cantidad de Zn absorbida está regulada por la capacidad que tiene el cuerpo de mantener constante su estado interno de frente a cambios de las condiciones externas. El porcentaje del Zn dietario absorbido dependerá de la cantidad de Zn en la dieta y de los requerimientos del animal, que a su vez son determinados por su status previo del animal, su estado fisiológico, el tipo y nivel de producción (Christian, 1998). A medida de que el Zn dietario se incrementa, el porcentaje absorbido disminuye y viceversa. Menard y Cousins en (1983), encontraron que la velocidad de absorción de Zn por parte del intestino delgado era el doble en ratas con deficiencias de Zn, que en ratas suficiente de Zn. La afinidad por el Zn no estaba aumentada, de manera que el incremento en la tasa de

transporte, probablemente, se debía a un aumento en el número de receptores que podían capturar el Zn libre o unido a ligandos de bajo peso molecular (Baker *et al.*, 1995).

En un estudio realizado en ratas, la absorción verdadera del Zn, varió desde un 100 % hasta cerca del 30 % a medida de que el nivel dietario aumentaba (Gupta *et al.*, 1997). En vacas lecheras la absorción verdadera de Zn era del 53.4 % con 16,6 ppm de Zn en la dieta y del 34,8 % con 39.5 ppm, mientras que en la excreción por la leche se había duplicado; cuando vacas lecheras en producción fueran pasadas de una dieta normal a una deficiente, como por ejemplo a 6 ppm de Zn en la dieta, la absorción aparente aumenta del 22 % al 51 % al término de una semana (Rojas *et al.*, 1995).

El status previo de Zn del animal también influye notablemente, ya que los animales deficientes tienen una absorción neta mucho mayor, de modo que colocándolos con dietas suficientes en Zn conservarán durante un corto periodo su capacidad de absorción aumentada (Miller *et al.*, 1996).

Las secreciones endógenas de Zn en las primeras porciones del intestino delgado juegan también un papel importante en la homeostasis del mineral, aunque una parte considerable de ese Zn puede ser potencialmente absorbido en el trayecto del intestino delgado (Miller *et al.*, 1996). Hempe (1992) observaron que a medida que el Zn dietario se incrementaba más allá de los requerimientos, la secreción endógena de Zn aumentaba, y que podría llegar hacer un mecanismo más importante que la disminución de la absorción.

La movilización del Zn desde el hueso en la deficiencia del Zn ha sido extensamente estudiada pero realmente no se han tenido resultados satisfactorios. Algunos trabajos indican que esta

movilización depende de la tasa de resorción ósea y que el hueso sirve como secuestrante del Zn y no como reservorio. Sin embargo, un trabajo realizado con ratas en crecimiento demuestra que una pequeña parte del Zn óseo (10-20 %) puede ser liberado en la primera fase de la deficiencia marginal del Zn para cubrir los requerimientos de los tejidos blandos (Gupta *et al.*, 1997).

Lesiones y signos de intoxicación.

Interferencia con otros nutrientes.

Exceso del Zn

Secuestación en tejidos. Excreción.

Disminución de la absorción y aumento de la secreción en intestino.

Niveles adecuados

Aumento de la absorción y disminución de la secreción en intestino.

Deficiencia de Zn

Redistribución tisular para proteger los pools Vitales.

Fase metabólicamente descompensa: disminución de la actividad de las metaloenzimas del Zn.

Fase de deficiencia clínica grosera: signos y lesiones
Característicos.
Muerte

Figura 1. Procesos adaptativos implicados en la Homeostasis del Zn (Adaptado de Agget y Favier, 1993).

Coincidentemente, Emmert y Baker, (1995), hallaron que el hueso y el hígado pueden almacenar Zn cuando los pollos son alimentados con dietas por encima del requerimiento mínimo, y

que este Zn puede ser liberado en un subsecuente periodo de deficiencia para poder soportar un crecimiento normal durante una semana. No existe ningún trabajo en rumiantes que permita suponer que el hígado cumpla una función de depósito importante, como sucede con el Cu, ni mucho menos que el hueso la cumpla (Zhov *et al.*, 1995). Se ha descubierto que existen dos pools del Zn corporal: un pool funcional de Zn, localizado en aquellos tejidos y fluidos menos afectados por el consumo del Zn, y un pool intercambiable, que responde fuertemente a variaciones en el Zn dietario y que sería menos importante para el metabolismo (Zhov *et al.*, 1995).

4.7 Excreción del Zinc

La mayor parte de la excreción del Zn en los rumiantes se realiza a través de las heces y una pequeña parte a través de la orina (kreuzer *et al.*, 1994). La secreción del Zn hacia el lumen intestinal se realiza vía secreciones pancreática, biliar e intestinal propiamente dicho, a través de un flujo serosa mucosa (Cousins *et al.*, 1994). Se dice que el páncreas contribuye con un 25 % o menos de las pérdidas endógenas del Zn. Con consumos normales del mineral, el Zn que se recoge en las heces es primariamente el Zn no absorbido (Mc Dowell, 1992).

4.8 Contenido de Zinc en los alimentos

El contenido de Zn en los alimentos utilizados en los rumiantes varía ampliamente. En general se asume que las leguminosas tiene mayores concentraciones que las gramíneas, y a medida de que las plantas maduran la concentración de Zn decrece (McDowell, 1992).

La interrelación entre suelo y planta es compleja. Una baja concentración de Zn en el pasto puede ser el reflejo de una deficiencia de Zn en el suelo, pero también de la presencia de factores que disminuyen su disponibilidad. Sin embargo, dentro de una misma zona existen muy amplias variaciones en la concentración del Zn en los forrajes, dependiendo de la especie y la estación en la que se encuentre (Pechin *et al.*, 1995). El rango óptimo de pH del suelo para la absorción de Zn por parte de los forrajes está entre los 5 y 7, al igual que para el Cu (Kegley *et al.*, 1995).

A medida de que el pH del suelo se incrementa, disminuyen la disponibilidad del Zn para la planta, pero este no es el único factor; las bajas temperaturas y el exceso de humedad también pueden disminuir la captación del Zn (McDowell, 1992).

4.9 Deficiencia de Zinc

Los signos clínicos de la deficiencia de Zn, prácticamente son los mismos en todas la especies; disminución en el consumo de alimento, retardo en el crecimiento, piel engrosada, escamosa y agrietada, perdida de pelo o lana, fallas reproductivas en machos y hembras, anormalidades esqueléticas, dificultosa reparación de heridas, etc (Underwood, 1998).

También se han descrito disminución del crecimiento del hueso endocondral y periostal, así como el del cartílago epifisiario, disminución del porcentaje de cenizas del hueso, hiperplasia epitelial irregular, con espaciamiento del estrato corneo en la mucosa de la boca, ausencia de linfocitos T en timo, linfonudos y bazo, hipertrofia e hiperqueratosis de la mucosa del esófago (Miller, 1996).

Es importante destacar el papel que desempeña el Zn en la síntesis de los ácidos nucleicos y proteínas, en la división celular y la acción de varias hormonas que afectan notoriamente el crecimiento y la reproducción en las diferentes especies pecuarias. Sin embargo, es difícil asociar cambios enzimáticos específicos con los signos y lesiones característicos de la deficiencia de Zn. En general los tejidos u órganos con mayores afectación por la deficiencia del Zn; son aquellos con división celular más acelerada o con mayor actividad en su metabolismo (Underwood, 1998).

Todas las fases del proceso reproductivo en las hembras se pueden verse afectadas por la deficiencia de Zn. En rumiantes se ha encontrado mortalidad embrionaria, malformaciones fetales, disminución en el porcentaje de parición, disminución del peso al nacimiento y al destete, etc (Hidiroglou, 1999). En los machos los efectos son igualmente a los de las hembras (Pitts *et al.*, 1997). Existen informes de que la suplementación de Zn en bovinos bajo sistemas pastoriles, donde los niveles del mineral son bajos, puede tener efectos sobre la ganancia de peso (Mayland *et al.*, 1998).

4.10 Toxicidad de Zinc

El Zn es un mineral de muy baja toxicidad, y con dietas comunes el tema no reviste ninguna importancia práctica. Los casos que ocurrieron naturalmente provienen de contaminaciones industriales o de errores muy groseros de formulación. El máximo nivel tolerable fijado por el NRC (2007) es de 300 ppm para ovinos; altos niveles de Zn en la dieta pueden interferir con la absorción y el metabolismo de algunos minerales, como el Cu y el Fe, como así mismo puede agravar una deficiencia marginal de los mismo minerales (McDowell, 1992).

El Zn en altas dosis ha sido utilizado por su efecto protector en la intoxicación con Cu en ovinos, en eczema facial (intoxicación con esporidesmina), también en ovinos y en la prevención de la diarrea en el destete precoz de lechones (Poulsen, 1995).

4.11 PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD

4.11.1 DIGESTIBILIDAD *in vivo*:

El valor nutritivo puede ser determinado en primera instancia, por el análisis químico proximal, pero el valor real del mismo para el animal solo se puede lograr a través de un análisis de las pérdidas inevitables que ocurren durante la digestión, absorción y metabolismo (Mison, 1999). Esto sucede a que después de consumir un alimento, hay residuos ingeridos que son excretados en las heces, los cuales significan una merma en términos de la utilización del mismo, por lo que la primera pérdida impuesta al alimento está representada por la parte que no es ingerida ni absorbida por el animal (Mison, 1999).

El análisis de la digestibilidad de un alimento es muy importante, ya que existen diferentes moléculas en este, unas que se dirigen y absorben fácilmente y otras que son resistentes a la degradación bacteriana y enzimática, por ende, excretadas en las heces; es precisamente este tipo de análisis que marca la diferencia entre la alimentación cuantitativa de la cualitativa (Church *et al.*, 1997).

Con las pruebas de digestibilidad o balance se cuantifican los nutrientes que son ingeridos y absorbidos en el tracto digestivo, así como las cantidades que se eliminan en las heces. Para esto es necesario conocer la cantidad de alimento ingerido como excretado, siendo la diferencia entre ambas cantidades la parte que se supone que fue digerida y absorbida por el animal, que al ser expresada como porcentaje resulta ser el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca o de cada uno de los componentes de los alimentos (Maynard *et al.*, 2000).

En general los valores de la digestibilidad obtenidos son aparentes, ya que normalmente no se hacen las mediciones, ni los aportes metabólicos, ni endógenos de origen corporal, tales como enzimas, hormonas, metabólicos o células de descamación, entre otros que se producen como consecuencia del proceso digestivo, apareciendo en las heces sin que necesariamente sean un residuo alimentario. En el caso de obtener dichos valores, al hacer la corrección, se obtiene la digestibilidad verdadera, que se refleja en forma más precisa la absorción de los nutrientes aportados por el alimento (Maynard, 2000).

En una prueba de digestibilidad *in vivo* se alimenta a un animal con cantidades predeterminadas de una dieta, para medir cuidadosamente la ingestión de los diferentes nutrimentos por parte del animal mediante un tiempo determinado, el cual se

acompaña de la recolección total de las heces. Se requiere que la recolección cuantitativa de las heces esté libre de contaminación de orina y que estas represente de forma cuantitativa el residuo no digerido del alimento ingerido previamente medido. Posteriormente, se analiza el alimento como las heces para determinar el contenido de nutrimentos presentes en ambas muestras (Church *et al.*, 1997).

Como se mencionó, el término digestibilidad va a expresar el porcentaje de todo el alimento o de un componente de este en particular, el cual no es excretado por el animal, suponiendo que es aprovechado y absorbido en el tracto gastrointestinal. Comúnmente es expresado en función de materia seca, como porcentaje de coeficiente de digestibilidad (Church y Pond, 1997).

La digestibilidad aparente de la materia seca se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\%DMS = \frac{C - E}{C} \times 100$$

Donde:

DMS= Digestibilidad de la materia seca

C= Consumo de materia seca

E= heces en base seca

Existen diferentes factores que afectan la digestibilidad de un alimento, como por ejemplo la composición y preparación del

mismo; el tiempo de tránsito así el tracto gastrointestinal o factores del animal como lo son la edad, especie, etapa reproductiva, etc. Por otra parte, se podría dar el caso de que la digestibilidad pudiera ser sobreestimada, especialmente cuando la última comida del periodo experimental es larga y el incremento de la salida fecal se retrasa hasta después del final de la recolección fecal (Church y Pond, 1997).

Entre los factores que pueden afectar la digestibilidad de algunos forrajes o raciones en rumiantes destacan (Van Soes, 2002).

- a) La cantidad de alimento consumido, ya que al aumentar este, se reduce la digestibilidad en virtud de que el pasaje de la digesta se incrementa.
- b) La cantidad de fibra y/o lignina en el alimento: como regla general, la digestibilidad de los forrajes disminuye conforme el porcentaje de la fibra ácido detergente aumenta.
- c) Diferencia entre las especies: los bovinos digieren mejor a la fibra que los ovinos, que a su vez digieren mejor los concentrados los ovinos en comparación a los bovinos; inclusive entre las mismas especies: se ha visto que el ganado cebú tiene mayores tasas de fermentación en cuanto al ganado europeo.
- d) Diferencias nutricionales: Numerosos experimentos indican que la relativa o absoluta deficiencia de proteína resulta en una reducción de la energía digerible; también es notorio que la deficiencia de algunos macro y microminerales (Mg, P, S, Fe, Co, Mn, Zn) disminuyen la digestión ruminal.
- e) Factores que afectan al apetito: cualquier aspecto que afecte el apetito tiene un efecto en la digestibilidad;

estos incluyen tanto la naturaleza física de la ración como la ausencia o presencia de algún nutrimento.

- f) Adaptación o cambios de ración ya que los microorganismos ruminales requieren como mínimo 10 días de adaptación; de no ser así la digestibilidad disminuirá.

4.11.2 DIGESTIBILIDAD *in situ*:

La técnica de la bolsa artificial, ha sido utilizada durante muchos años para proporcionar valores estimados de la tasa de desaparición de los constituyentes alimenticios en el rumen. Esta técnica tiene la ventaja de dar una estimación rápida de la tasa y grado de degradación de los alimentos en el rumen, sin necesidad de ningún proceso complicado más que simplemente pesar. Por otra parte, se ha observado que los valores encontrados después de 48 horas de degradación, se pueden comparar con los encontrados en la digestibilidad *in vivo* cuando se utilizan bolsas con poros extremadamente pequeños (Huntington y Givens, 2005). Otra ventaja consiste en que el material alimenticio se encuentra suspendido en el rumen, estando este en íntimo contacto con el ambiente ruminal (temperatura, pH, sustrato, buffer, enzimas, etc.) cosa que no sucede en la digestibilidad *in vitro*, Orskow y Col, (1998) mencionan tres limitantes en esta técnica:

- a) Al ser muestra confinada dentro de la bolsa, no está expuesta a ninguna reducción debido a la masticación y rumia.
- b) El alimento normalmente podría salir del rumen, una vez que tuviera el tamaño adecuado.

c) Debe recordarse que se cuantifica la reducción del material a un tamaño suficientemente pequeño para salir de la bolsa, lo que no necesariamente implica una degradación completa a componentes químicos sencillos. Por lo tanto los resultados necesitan ser tratados con el debido cuidado, usándose principalmente como indicadores cualitativos de los principios generales.

Así mismo se han mencionado diferentes fuentes de variación en esta técnica que son importantes considerar, entre las cuales se encuentran: el tipo de material con el que se están elaborando las bolsas, la porosidad de las mismas, la preparación de la muestra, el tamaño de la partícula, la cantidad de la muestra, la dieta del animal, el tiempo de incubación, así como el número de bolsas incubadas. El procedimiento del lavado después de la incubación también es importante, ya que se han observado en diferentes investigaciones que es muy variable dependiendo de la duración, así como el efecto del animal. Pudiendo haber diferencias entre especies, entre animales y dentro del mismo animal (Huntington y Givens, 2005).

4.11.3 DIGESTIBILIDAD *in vitro*

En esta prueba de digestibilidad se lleva a cabo una fermentación anaerobia, utilizándose un sustrato en una solución amortiguadora similar a la composición de la saliva, en el líquido ruminal filtrado, saturando todo el medio de CO₂, ya que los microorganismos ruminales requieren de condiciones anaeróbicas. Los productos finales de la fermentación son principalmente bióxido de carbono, metano, ácidos grasos

volátiles y masa microbiana. La producción de gases o AGVS, pueden inhibir el proceso de fermentación; por lo tanto debe mantenerse una temperatura constante (39 - 40°C) y agitación de vez en cuando de las muestras. El método más usado es el desarrollado por Tilley y Teller el cual le involucra 48 horas de fermentación con fluido ruminal, seguido de una digestión con pepsina por 48 horas, el cual fue modificado por (Mison y McLeod, 2002).

4.12 Marcadores

Tanto para las pruebas de digestibilidad *in vivo*, como para las de cinética ruminal se utilizan marcadores. Los cuales han sido definidos como sustancias inertes, sin efectos tóxicos, que no deben absorberse, ni metabolizarse, tiene que ser ingeridos y excretados en su totalidad, así como mezclarse íntimamente con el alimento. Por otra parte, al ser utilizados no debe afectar el trato digestivo, y este debe poderse medir y analizarse fácilmente en el laboratorio (Kotb y Luckey, 1992).

Se consideran marcadores internos aquellos que forman parte natural de la dieta, como sería la lignina, mientras que un marcador externo es aquel que se adiciona a la ración, consumiéndose por vía oral, como por ejemplo el óxido de cromo, que se puede suministrar con diferentes vehículos como lo son la pulpa de papel, alimento peletizado, capsulas de gelatina o alimento amordantado. Otra forma de clasificarlos es como marcadores absorbibles y no absorbibles o marcadores fecales. Los primeros son aquellos que se absorben completamente con el alimento, se recuperan en orina, mientras que los no absorbibles son aquellas sustancias que no se absorben en el

tracto digestivo recuperándose en las heces (Koth y Luckey, 1992).

Para elegir un buen marcador es necesario que este cumpla con las siguientes características (Koth y Luckey, 1992):

- a) Inerte, para evitar efectos tóxicos fisiológicos.
- b) Ingerible, no metabolizable, no absorbible y excretarse completamente.
- c) No ser voluminoso.
- d) No tener influencia sobre la secreción alimenticia, digestión, absorción, mortalidad y excreción.
- e) Mezclarse íntimamente con el alimento, además de permanecer uniformemente distribuido en la digesta.
- f) No afectar, ni ser afectado por la flora microbiana.
- g) Ser fácilmente analizado en el laboratorio.

Sin embargo, es preciso mencionar que, hasta la fecha, ningún marcador disponible satisface todos estos requisitos. Por otra parte, las técnicas de marcadores deben ser consideradas en relación al método de administración del marcador, así como al método de muestreo (Koth y Luckey, 1992).

El marcador puede administrarse continuamente a una tasa constante, o bien, en una sola dosis, ya sea por medio del alimento o por infusión ruminal. En el muestreo se deben tomar pequeñas muestras de la digesta en tiempos sucesivos (Aguilera, 2002).

Existen marcadores en la actualidad que pueden ser solubles en líquidos y en sólidos. Entre los principales marcadores relacionados con la fase líquida se encuentra el polietilenglicol, ya que cuando se utilizó Cr_2O_3 para medir flujos estos pueden ser sobrestimados en un 4 a 6 % (Aguilera, 2002). Para la fase sólida se pueden mencionar como los más

importantes a los complejos de Ru, Ce y Cr²⁰³ (Aguilera *et al.*, 2002). Por lo cual se ha llegado a una conclusión en la utilización de marcadores de cualquier tipo, esto probablemente debido a variaciones en la secreción salival o al consumo de agua (Aguilera, 2002).

4.13 Consumo de agua diario

El agua es un elemento indispensable para la vida y por lo tanto básico, que se puede aportar al organismo como tal líquido o formando parte de los alimentos. Las necesidades de agua de un animal están estrechamente relacionadas con factores exteriores como el clima, los hábitos alimentarios, la actividad física, etc (Olivares *et al.*, 2007).

Dependiendo la especie y el fin, el ganado debe consumir entre 2 y 60 litros de agua al día. El consumo de agua en el ganado es uno de los puntos de mayor importancia dentro de la alimentación animal, sin embargo no hay la suficiente difusión sobre el tema (Olivares *et al.*, 2007).

Las vías de pérdida de agua son la orina, las heces, el sudor y a través de la respiración. Estas pérdidas representan la cantidad mínima de líquidos que debe ingerir cada día un animal para mantener su equilibrio hídrico (Olivares *et al.*, 2007).

Cuadro 3. Consumo de agua por especie.

<i>Especie Animal</i>	<i>Litros por cabeza por día</i>
<i>Caballo</i>	<i>25 - 45</i>
<i>Vaca Seca (En Producción)</i>	<i>45 - 55</i>

<i>Vaca Seca (Alta Producción)</i>	80 - 110
<i>Novilla De 2 Años</i>	38
<i>Novillo En Engorda</i>	30
<i>Oveja (Lactación)</i>	3.8
<i>Oveja (Seca)</i>	7
<i>Cordero En Engorda</i>	2
<i>Cabra</i>	4.5 - 8
<i>Cerdas Gestantes</i>	18 - 20
<i>Cerdas Lactantes</i>	22 - 26
<i>Cerdo Engorda (45 Kg)</i>	8 - 9
<i>Cerdos Engorda (90 Kg)</i>	10 - 12

Fuente: Olivares, 2007

V MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Montecillos; ubicado en la localidad de Montecillos del municipio de Texcoco de Mora en el Estado de México, con latitud Norte $19^{\circ}27'00''$, longitud Oeste $98^{\circ}53'00''$ y una altura de 2245 msnm.



Figura 2. Ubicación del Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, Texcoco, México.

5.2 Establecimiento del experimento

El experimento se realizó con doce borregos fistulados de la raza katahdin vs pelibuey de un año de edad. Se alojaron en 12 jaulas metabólicas individuales, donde fueron alimentados con una dieta de mantenimiento, donde se realizó una fase de adaptación de 13 días y donde posteriormente se realizó la fase experimental que tuvo una duración de 60 días (Febrero - Abril).

La dieta experimental que recibieron los ovinos fue basada con los siguientes ingredientes los cuales se encontraban libres de zinc:

Cuadro 4. Composición de la dieta.

Cantidad	Ingredientes
600 g	Melaza
1200 g	Maíz molido
1800 g	Maíz quebrado
300 g	Minerales
2700 g	Harina de trigo
1400 g	Paja de trigo
1100 g	Cascara de cítrico
600 g	Pulpa de cítrico
200 g	Aceite
100 g	Urea
10 kg	TOTAL

La cantidad de alimento ofrecido fue de 796 g diario, repartido en dos raciones una por la mañana (8:00 am) y otra por la tarde (8:00 pm). El consumo de agua fue controlada de 3L, conforme fueron consumiendo se les agregaba más agua; diariamente se le controlaba el alimento ofrecido y el rechazado, así mismo la aplicación del Zn y Cr se realizó antes de ofrecer el alimento, tanto en la mañana como en la tarde.

Se tomaron 144 muestras de líquido ruminal, duodenal, heces y orina. Las muestras fueron tomadas semanalmente, realizando tres días de muestreos (lunes, martes y miércoles) con cuatro días de descanso en cada uno de los muestreos, con un total de 7 muestreos en todo el experimento.

5.3 Procedimiento experimental

Los ovinos se alojaron en 12 jaulas metabólicas individuales provistas de un dispositivo para la recogida y separación de heces y orina. Cada una de estas jaulas contaba con comederos de garrafones para evitar la intervención del zinc de los comederos de fierro.

5.4 Distribucion de los tratamientos

Tratamiento de 400 ppm			
T1	Anim. 2	T1	Anim. 1
T1	Anim. 3	T1	Anim. 4

Tratamiento de 80 ppm			
T2	Anim. 5	T2	Anim. 6
T2	Anim. 7	T2	Anim. 8

Tratamiento de 25 ppm			
T3	Anim. 9	T3	Anim. 10
T3	Anim. 11	T3	Anim. 12

5.5 Variables a evaluar

La toma de las muestras de los pH se realizó de la siguiente manera:

1. Recolección de heces.
2. Toma de líquido duodenal.
3. Toma de líquido ruminal.
4. Toma de orina.

1. Recolección de heces.

La recolección de heces se realizó mediante un panal de tela transparente con dos fijadores para ponérselo al animal, para evitar la contaminación de la muestra y su manejo más rápido; donde posteriormente se realizó la medición de pH utilizando un potenciómetro portátil digital Banart 30 (Banart©), el cual se estandarizó en una solución con pH 7.0, 4.0 y entre mediciones se lavó con agua destilada para evitar contaminación de otros residuos.

2. Toma de líquido duodenal.

Para la recolección de líquido duodenal se realizó con una bolsa de empaque y una liga para su sujeción, obtenido una cantidad de 30 mL el cual era recolectado en un tubo de falcón, posteriormente se midió el pH correspondiente utilizando un potenciómetro portátil digital Banart 30 (Banart©), el cual se estandarizó en una solución con pH 7.0, 4.0 y entre mediciones se lavó con agua destilada para evitar contaminación de otros residuos.

3. Toma de líquido ruminal.

Para la recolección de líquido ruminal se realizó mediante una perilla de succión con un tubo de falcón, obteniendo una cantidad de 30 mL, donde posteriormente se midió el pH correspondiente utilizando un potenciómetro portátil digital Banart 30 (Banart©), el cual se estandarizó en una solución con pH 7.0, 4.0 y entre mediciones se lavó con agua destilada para evitar contaminación de otros residuos.

4. Toma de orina

La recolección de orina se realizó con un aro de costura, una bolsa de plástico con un cincho para poder colocárselo al ovino, y así tener una muestra libre de heces o de alguna otra sustancia que pueda afectar; la cantidad tomada que se utilizó fue de 30 mL en un tubo de falcón, donde después fue tomado su pH utilizando un potenciómetro portátil digital Banart 30 (Banart©), el cual se estandarizó en una solución con pH 7.0, 4.0 y entre mediciones se lavó con agua destilada para evitar contaminación de otros residuos.

Consumo de agua

El consumo de agua se realizó mediante garrafones de plástico de 4 litros que fueron adaptados para la medición, el consumo de agua, se les ofrecía a los animales 3 litros de agua y conforme fueron consumiendo se les ofrecía más agua, el agua utilizada para los animales fue des-ionizada, la cual fue extraída del laboratorio de nutrición perteneciente al Colegio de Postgraduados.

Digestibilidad aparente

La digestibilidad aparente expresa el porcentaje de todo el alimento o de un componente de este en particular, el cual no es excretado por el animal. Esta fue calculada mediante la siguiente ecuación realizada por Church y Pond (1997):

$$\%DMS = \frac{C - E}{C} \times 100$$

Donde:

DMS= Digestibilidad de la materia seca

C= Consumo de materia seca

E= heces en base seca

Se calculó el porcentaje de MS del alimento y las heces fueron secadas en una estufa, perteneciente al laboratorio de nutrición del Colegio de Postgraduados.

Consumo diario de alimento

El consumo de alimento se midió con la siguiente ecuación:

$$\text{CDA} = \text{Alimento Ofrecido} - \text{Alimento Rechazado}$$

Donde:

CDA: Consumo de alimento

El rechazo se recolectó en bolsas de plástico, donde después se pesó y se llevó un control por cada animal.

5.7 Análisis estadístico

Las variables se analizaron estadísticamente usando la prueba LSMEANS con la opción PDIFF. Para comparar las posibles diferencias entre tratamientos y periodos, se realizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = variable de respuesta en el tratamiento i, repetición j

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i. (niveles de Zn)

ε_{ij} = Error experimental

El total de los análisis estadísticos se realizó con el programa SAS versión 9.1. (2011).

VI RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados del pH en el líquido ruminal se muestran en el Cuadro 5. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de 80 ppm vs 400 ppm y 25 ppm; así mismo entre los periodos de cada uno de los tratamientos. En el pH hubo una disminución en el tratamiento de 80 ppm a diferencia de los tratamientos de 400 ppm y 25 ppm.

En cambio las diferencias obtenidas en los periodos por los tratamientos se observó en los tres tratamientos evaluados

Cuadro 5, las diferencias en el 25 ppm fueron en el periodo uno (P1) donde se observó la disminución del pH y periodo cuatro (P4) ocurrió un aumento en comparación a los demás periodos de ese tratamiento, esto se puede deber por la acumulación o a la adaptación a la dieta. Sin embargo en los tratamientos 80 ppm y 400 ppm en el P1 se observó una disminución del pH, donde los demás periodos se mantuvieron estadísticamente iguales obteniendo valores de 6.0, valores en los que la actividad de las bacterias celulolíticas son reducidas (Orskov, 1990; Ishler *et al.*, 1996; Stewart, 1997). Sin embargo, el pH en todos los muestreos con todos los tratamientos estuvo dentro de los rangos aceptables de acuerdo con algunos autores, como Orskov, (1990) quien señala que la actividad de las bacterias celulolíticas llega a ser nula cuando los valores del pH son inferiores a 6.0. Así mismo Cooper y Klopfenstein, (1996), consideran que existe acidosis subclínica si el pH está dentro del rango de 5.2 y 5.6. Otros autores mencionan que cuando el pH cae a niveles por debajo de 5,5 se reduce el número de especies de bacterias y los protozoarios no sobreviven, hay un aumento de la osmolaridad del contenido ruminal, se inhibe el consumo, convirtiendo las condiciones del rumen en menos estables y con menor capacidad para mantener el pH en condiciones normales con cambios en la dieta (Krause y Oetzel, 2006).

El pH del rumen baja progresivamente inmediatamente después del suministro del alimento y retorna a los niveles previos a la suplementación a las 24 horas (Crater *et al.*, 2007).

Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del pH de líquido ruminal en ovinos según tratamiento y periodo.

Periodos

Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	Prom. Total	EEM
25 ppm	6.06 7 ^{ay}	6.16 0 ^{abx}	6.33 5 ^{aby}	6.4 4 ^{5by}	6.27 7 ^{abx}	6.20 7 ^{abx}	6.1 30 ^{ax}	6.231 ^y	0.0 44
80 ppm	5.72 7 ^{ax}	6.09 0 ^{bx}	5.90 7 ^{ax}	6.0 75 ^{bx}	6.18 0 ^{bx}	6.25 0 ^{bx}	6.1 00 ^{bx}	6.047 ^x	0.0 44
400 ppm	5.80 7 ^{axy}	6.14 0 ^{bx}	6.14 0 ^{bxy}	6.1 35 ^{bx}	6.22 5 ^{bx}	6.03 7 ^{abx}	6.0 82 ^{bx}	6.086 ^x	0.0 43
Trat. Total	5.86 7 ^a	6.13 0 ^b	6.14 0 ^b	6.2 18 ^b	6.22 7 ^b	6.16 5 ^b	6.1 04 ^b		
EEM	0.06 5	0.07 2	0.06 5	0.0 65	0.06 5	0.06 5	0.0 65		

^{a, b, c.} Las medias por hilera (periodos) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el total tratamiento total.

^{x, y, z.} Las medias por columna (tratamiento) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el promedio total.

Los resultados del pH en el líquido duodenal se muestran en el Cuadro 6. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos de 25 ppm, 80 ppm y 400 ppm; ya que ambos mantuvieron el pH en rango óptimo de 2,2 - 3,0 como lo marca la literatura (Church, 1993).

Sin embargo, se observaron diferencias significativas en los periodos por efecto de los diferentes tratamientos en el Cuadro 6, las diferencias fueron observadas solo en el tratamiento de 400 ppm, donde el periodo P₅ tuvo un pH de 2.67 reportando así el pH más alto en comparación a los demás y el P₆ reportó el pH más bajo no solo en ese tratamiento si no en comparación a los demás periodos de los otros dos tratamientos. Esta diferencia pudo ser por la alta cantidad de Zn suministrada a esos animales de ese tratamiento en relación a los demás tratamientos. El aumento del pH duodenal tiene implicaciones

importantes con respecto a la actividad que alcanza las diferentes enzimas secretadas y vertidas a la luz intestinal y que depende del pH al que se encuentre el medio circulante (Church, 1993).

Cuadro 6. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del pH de líquido duodenal en ovinos según tratamiento y periodo.

Tratamientos	Periodos							Prom.T otal	EEM
	1	2	3	4	5	6	7		
25 ppm	2.39 2 ^{ax}	2.21 0 ^{ax}	2.66 5 ^{ay}	2.22 0 ^{ax}	2.46 0 ^{axy}	2.3 15 ^{ax}	2.34 7 ^{ax}	2.314 ^x	0.0 70
80 ppm	2.34 7 ^{ax}	2.52 5 ^{ax}	2.03 0 ^{ax}	2.26 0 ^{ax}	2.06 7 ^{ax}	2.3 20 ^{ax}	2.40 7 ^{ax}	2.779 ^x	0.0 70
400 ppm	2.40 2 ^{abx}	2.24 5 ^{abx}	2.34 7 ^{abxy}	2.00 0 ^{abx}	2.67 2 ^{ay}	2.0 97 ^{bx}	2.43 7 ^{abx}	2.314 ^x	0.0 68
Trat.To tal	2.38 0 ^a	2.32 7 ^a	2.34 7 ^a	2.16 0 ^a	2.40 0 ^a	2.2 44 ^a	2.39 7 ^a		
EEM	0.10 4	0.11 6	0.10 4	0.10 4	0.10 4	0.1 04	0.10 4		

^{a, b, c.} Las medias por hilera (periodos) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el total tratamiento total.

^{x, y, z.} Las medias por columna (tratamiento) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el promedio total.

Los resultados del pH de heces se muestran en el Cuadro 7. De acuerdo al análisis estadístico, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos de 25 ppm, 80 ppm y 400 ppm; ya que ambos mantuvieron el pH en rango óptimo de 7,6 - 8,2 como lo que marca la literatura (Godoy et al., 2004).

Sin embargo, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los periodos por tratamientos en el Cuadro 7, las diferencias fueron observadas en los tres tratamientos de 25

ppm, 80 ppm y 400 ppm, donde en el tratamiento de 25 ppm la diferencia se dio en el P₆ reportando un pH más alto en comparación a los demás periodos del mismo tratamiento los P₃ y P₇ reportando un pH de 7.4 siendo el más bajo de todos en comparación a los demás; en el tratamiento de 80 ppm las diferencias se notaron en el P₁ con un pH de 7.3 siendo el más bajo y el P₃ reporta un pH de 8.1 siendo más alto en comparación a los demás periodos y en el tratamiento de 400 ppm las diferencias se encontraron en el P₆ con un pH de 7.4 el más bajo de todos los periodos de ese tratamiento y los P₁ P₄ P₅ P₇ reportaron un pH más alto entre 7.5 - 8.2. Al no existir estudios relevantes en el pH de heces con suplementos de Zn, algunos autores mencionan que el empleo de microminerales quelatados disminuyen la eliminación del Co y Zn en heces debido a su mayor aprovechamiento, repercutiendo en el incremento de la digestibilidad, así como propiciando una menor contaminación ambiental (Godoy *et al.*, 2004).

Cuadro 7. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del pH de heces en ovinos según tratamiento y periodo.

Tratamientos	Periodos							Prom.T otal	EEM
	1	2	3	4	5	6	7		
25 ppm	7.84 ^{7abx}	7.81 ^{6abx}	7.49 ^{0by}	7.75 ^{0abx}	7.59 ^{7abx}	8.22 ^{5ax}	7.43 ^{2bx}	7.685 [*]	0.0 92
80 ppm	7.3 ^{20ax}	7.94 ^{3abx}	8.12 ^{2bx}	7.72 ^{7abx}	7.58 ^{7abx}	7.72 ^{0abxy}	7.58 ^{5abx}	7.715 [*]	0.0 92
400 ppm	7.5 ^{82bx}	7.93 ^{5abx}	7.91 ^{0abxy}	8.25 ^{7bx}	8.11 ^{5bx}	7.41 ^{7ay}	7.51 ^{5bx}	7.818 [*]	0.0 90
Trat.To tal	7.4 ^{63a}	7.89 ^{8b}	7.84 ^{0b}	7.91 ^{1b}	7.76 ^{6ab}	7.78 ^{7ab}	7.51 ^{0a}		

EEM	0.3	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	17	2	7	7	7	7	7

^{a, b, c}. Las medias por hilera (periodos) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el total tratamiento total.

^{x, y, z}. Las medias por columna (tratamiento) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el promedio total.

Los resultados del pH en el orín se muestran en el Cuadro 8. Se observaron que se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de 80 ppm vs 400 ppm y 25 ppm; sin embargo, entre los periodos de cada uno de los tratamientos no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). El patrón que se observó en el pH fue que hubo un aumento en el tratamiento de 80 ppm a diferencia de los tratamientos de 400 ppm y 25 ppm. Por lo cual se destaca que el pH obtenido en todo el experimento no se encuentra entre los parámetros óptimos como lo marca la literatura de 7 ± 8 (Willard, 2005), el cual es más bajo y por lo contrario tiende a ser más alcalino con valores de pH de $5,00 \pm 6,00$, por lo que el Zn tuvo un efecto en el pH de la orina. La literatura marca que la presencia de microorganismos cambia las condiciones locales del microambiente y favorece los cambios del pH para incrementar la proliferación. Las infecciones del tracto urinario generalmente causadas por bacterias reductoras de urea (*Staphylococcus* y *Proteus*) frecuentemente torna al pH alcalino, aunque la mayoría de las bacterias patógenas que no utilizan urea dan a la orina un pH ácido. Los cambios de pH se han considerado una fuente potencial en el desarrollo de cálculos o urolitos en los diferentes segmentos del aparato excretor (Bayer Health, 2002).

Cuadro 8. Medidas de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del pH del orín en ovinos según tratamiento y periodo.

Tratamientos	Periodos							Prom.T otal	EEM
	1	2	3	4	5	6	7		
25 ppm	5.44 0 ^{ax}	5.33 0 ^{ay}	5.68 5 ^{ax}	5.56 5 ^{ax}	5.67 2 ^{ax}	5.44 0 ^{ax}	5.46 7 ^{ax}	5.514 ^x	0.6 20
80 ppm	5.78 5 ^{ax}	6.04 3 ^{ax}	5.68 0 ^{ax}	5.76 0 ^{ax}	5.64 2 ^{ax}	5.59 5 ^{ax}	5.75 7 ^{ax}	5.751 ^y	0.6 20
400 ppm	5.38 0 ^{ax}	5.64 0 ^{axy}	5.53 2 ^{ax}	5.65 0 ^{ax}	5.79 0 ^{ax}	5.63 2 ^{ax}	5.39 0 ^{ax}	5.573 ^x	0.6 05
Trat.To tal	5.53 5 ^a	5.67 1 ^a	5.63 2 ^a	5.65 8 ^a	5.70 1 ^a	5.55 5 ^a	5.53 8 ^a		
EEM	0.09 2	0.10 2	0.09 2	0.09 2	0.09 2	0.09 2	0.09 2		

^{a, b, c}. Las medias por hilera (periodos) con diferente literal son diferentes (p<0.05) excepto el total tratamiento total.

^{x, y, z}. Las medias por columna (tratamiento) con diferente literal son diferentes (p<0.05) excepto el promedio total.

Los resultados del consumo de agua se muestran en el Cuadro 9. Se encontraron diferencias significativas (p< 0.05) entre los tratamientos de 400 ppm vs 25 ppm y el tratamiento de 80 ppm es igual a los otros dos tratamientos estadísticamente; sin embargo, entre los periodos de cada uno de los tratamientos no se encontraron diferencias significativas (p> 0.05).

A mayores cantidades de Zn, el consumo el agua como se muestra en la presente investigación donde el mayor consumo de agua se reflejó en el tratamiento de 400 ppm de 2.58 L/día rebasando así el consumo normal de agua de ovino que es de 2 L/día (Olivares, 2007). Por lo que una investigación realizada por el INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA (INTA EEA san Luis en Lincoln, Buenos Aires), menciona que las pododermatitis presentes en diversos establecimientos de la zona estaban relacionados a la deficiencia de Zn y que podrían estar inducidos por excesos de sulfatos en agua (Sager, 1997).

Cuadro 9. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del consumo diario de agua (litros) en ovinos según tratamiento y periodo.

Tratamientos	Periodos							Prom.T otal	EEM
	1	2	3	4	5	6	7		
25 ppm	2.15 6 ^{ax}	1.78 1 ^{ax}	2.15 6 ^{ax}	1.78 1 ^{ay}	1.72 5 ^{ax}	1.96 8 ^{ax}	1.75 0 ^{ax}	1.902 ^x	0.1 59
80 ppm	2.15 6 ^{ax}	2.15 6 ^{ax}	2.25 0 ^{ax}	3.00 0 ^{ax}	2.47 5 ^{ax}	1.98 8 ^{ax}	2.75 0 ^{ax}	2.393 ^{xy}	0.1 59
400 ppm	2.71 8 ^{ax}	2.71 8 ^{ax}	2.25 0 ^{ax}	2.90 6 ^{axy}	2.70 0 ^{ax}	2.06 2 ^{ax}	2.75 0 ^{ax}	2.586 ^y	0.1 59
Trat.Total	2.34 3 ^a	2.21 8 ^a	2.21 8 ^a	2.56 2 ^a	2.30 0 ^a	2.00 0 ^a	2.41 6 ^a		
EEM	0.24 4	0.24 4	0.24 4	0.24 4	0.24 4	0.24 4	0.24 4		

^{a, b, c.} Las medias por hilera (periodos) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el total tratamiento total.

^{x, y, z.} Las medias por columna (tratamiento) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el promedio total.

Los resultados de digestibilidad aparente se muestran en el Cuadro 10, los resultados muestran que se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de 400 ppm vs 25 ppm y el tratamiento de 80 ppm es igual a los otros dos tratamientos estadísticamente; donde en el tratamiento de 400 ppm es el tratamiento donde más digestibilidad aparente se presentó con un porcentaje del 78.14 %, esto puede deberse a que fue el tratamiento con mayor cantidad de Zn lo cual posibilitó una buena digestibilidad en comparación de los otros tratamientos. En un ensayo de suplementación con Zinc en ovinos, la digestibilidad aparente que obtuvieron fue del 47.64 %, con un tratamiento que solo contenía 10 ppm de zinc y el otro tratamiento contenía 30 ppm, el cual obtuvo una digestibilidad aparente del 26.34 %, así

teniendo el mejor porcentaje de digestibilidad aparente el tratamiento deficiente 10 ppm de Zn, resultados diferentes al presente estudio donde los porcentajes de digestibilidad son superiores, esto puede deberse que en el presente estudio las concentraciones de zinc evaluadas son superiores a la calidad de la dieta que fue utilizada en dicho experimento, el tipo de animales entre otros factores (Nuñez *et al.*, 1991).

Sin embargo, se encontraron diferencias entre los periodos de cada uno de los tratamientos Cuadro 10; en el tratamiento de 25 ppm se encontraron diferencias significativas entre el P₂ y P₃ donde el P₂ tuvo un digestibilidad de 68.95 %, donde la cual fue la más baja en comparación a la digestibilidad aparente del P₃ donde reporto una digestibilidad de 79.50 %, siendo la más alta en comparación a los demás periodos, en cambio en el tratamiento de 80 ppm se notó las diferencias entre los P₂ donde tuvo una digestibilidad de 81.14 % siendo esta la mejor digestibilidad aparente en comparación de los P₃, P₅ y P₇ donde la digestibilidad tuvo un equilibrio equitativamente entre 75 % - 80 % y en el tratamiento de 400 ppm las diferencias se presentaron en el P₅ teniendo una digestibilidad del 73.51 % siendo la más baja en comparación a los P₂, P₃ y P₇ donde mantuvieron una digestibilidad entre 77 % ± 80 %.

Cuadro 10. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar de digestibilidad aparente (%) en ovinos según tratamiento y periodo.

Tratamientos	Periodos							Prom. Total	EE M
	1	2	3	4	5	6	7		
25 ppm	74.2 68 ^{abx}	68.9 56 ^{bx}	79.5 01 ^{ax}	77.7 34 ^{abx}	74.6 03 ^{abx}	76.2 34 ^{abx}	71.9 48 ^{abx}	74.74 9 ^x	1. 22
80 ppm	75.1 51 ^{abx}	81.1 44 ^{ay}	80.0 22 ^{bx}	74.5 09 ^{abx}	70.7 14 ^{bx}	75.6 86 ^{abx}	80.4 16 ^{by}	76.80 6 ^{*y}	1. 25

400 ppm	78.8 08 ^{abx}	78.9 55 ^{ay}	80.7 90 ^{ax}	80.3 45 ^{abx}	73.5 18 ^{bx}	77.1 97 ^{abx}	77.4 35 ^{axy}	78.14 9 ^y	1. 20
Trat.T otal	76.0 76 ^{ab}	76.3 52 ^{ab}	80.1 04 ^a	77.5 29 ^{ab}	72.9 45 ^b	76.3 72 ^{ab}	76.5 99 ^{ab}		
EEM	1.83 4	2.02 7	1.93 3	1.83 4	1.83 4	1.83 4	1.83 4		

^{a, b, c.} Las medias por hilera (periodos) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el total tratamiento total.

^{x, y, z.} Las medias por columna (tratamiento) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el promedio total.

Los resultados del consumo de alimento se muestran en el Cuadro 11. De acuerdo al análisis estadístico, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de 25 ppm y 400 ppm; sin embargo, entre los periodos de cada uno de los tratamientos no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). El patrón que se observó en el consumo de alimento (MS) fue que hubo una disminución en el tratamiento de 25 ppm de 0.616 g/día a diferencia del tratamiento de 400 ppm donde tuvo un consumo de alimento (MS) de 0.680 g/día. Por lo cual se infiere con otras investigaciones que el consumo obtenido es más bajo en comparación con el experimento realizado en ovejas corriedale de 32 kg de peso, donde los tratamientos fueron los siguientes: 250 ppm con un consumo de alimento (MS) 0.710 g/día y 400 ppm con un consumo de alimento (MS) 0.910 g/día, así mismo otro experimento realizado por (Miller et al., 1994) con tratamientos de 20 ppm como animales carentes o deficientes y 60 ppm como animales testigos, noto un descenso en el consumo de alimento (MS) muy alto en el tratamiento con descenso de 0.800 g/día a 0.500 g/día, además en el tratamiento testigo su consumo no se vio afectado por ninguna razón, esto puede destacar por la cantidad de Zn suministrada a esos animales;

por lo consiguiente concluyeron que existe un gran efecto del Zn en el consumo de alimento (MS) en ovinos.

Cuadro 11. Medias de mínimos cuadrados ($\bar{Y} \pm EEM$) y errores estándar del consumo de alimento (g) en ovinos según tratamiento y periodo.

Tratamientos	Periodos							Prom.T otal	EEM
	1	2	3	4	5	6	7		
25 ppm	0.54 7 ^{ax}	0.64 2 ^{ax}	0.63 6 ^{ax}	0.61 2 ^{ax}	0.61 0 ^{ax}	0.61 3 ^{ax}	0.65 0 ^{ax}	0.616 ^y	0.0 24
80 ppm	0.61 6 ^{ax}	0.62 7 ^{ax}	0.68 8 ^{ax}	0.68 2 ^{ax}	0.62 3 ^{ax}	0.55 9 ^{ax}	0.62 9 ^{ax}	0.632 ^{xy}	0.0 24
400 ppm	0.69 1 ^{ax}	0.68 5 ^{ax}	0.69 8 ^{ax}	0.69 2 ^{ax}	0.65 1 ^{ax}	0.68 6 ^{ax}	0.65 3 ^{ax}	0.680 ^x	0.0 23
Trat.To tal	0.61 8 ^a	0.65 1 ^a	0.67 4 ^a	0.66 2 ^a	0.62 8 ^a	0.61 9 ^a	0.64 5 ^a		
EEM	0.03 5	0.03 9	0.03 7	0.03 5	0.03 5	0.03 5	0.03 5		

^{a, b, c.} Las medias por hilera (periodos) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el total tratamiento total.

^{x, y, z.} Las medias por columna (tratamiento) con diferente literal son diferentes ($p < 0.05$) excepto el promedio total.

VII CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye lo siguiente:

La digestibilidad aparente, consumo de alimento (MS) y consumo de agua fueron afectados por las diferentes concentraciones de zinc; tanto entre tratamientos como entre periodos, destacando el tratamiento de 400 ppm, rebasando los rangos óptimos de las variables antes mencionadas.

En cambio las variables de pH ruminal y pH de orina fueron afectadas también por las diferentes concentraciones de zinc, pero solo por tratamientos, encontrando las diferencias entre 25 ppm y 400 ppm, donde la alta concentración de zinc ocasionando un aumento de pH en estas variables.

El pH duodenal y pH de heces no se vieron afectados por las diferentes concentraciones de zinc suministradas entre tratamientos; sin embargo entre periodos se vieron afectados por un aumento de pH de las mismas.

VIII LITERATURA CITADA

Agget, P.J.; Favier, A. 1993. Zinc. Internat. J. Vit. Nutr. Res. 63: 301-307.

Aguilera, J.F. 2002. EEZ. Aportaciones al conocimiento de la nutrición energética de pequeños rumiantes. Arch. Zootec., 50:565-596.

Arora, S.P.; Hatfield, E.E; Garrigus, U.S.; Lohman, T.G.; Doane, B.B. 2000. Zinc-65 uptake by rumen tissue. J. Nutr. 97: 25-28.

Baker, D.H.; Ammerman, C.B.1995. Zinc bioavailability. In bioavailability of nutrients for animals. C.B. Ammerman, D.H Baker y A.J. Lewis, Eds. San Diego. USA. P.367-398.

Bayer Health Care. 2002. Uroanálisis. Manual Técnico. Indicaciones e interpretación en Medicina Veterinaria.

- Cirio A. 2000. Fisiología metabólica de los rumiantes.
- Cooper, R. y Klopfenstein. 1996. Effect of Rumensinr and feed intake variation on ruminal pH. 1996 Update on Rumensinr /Tylanr/Micotilr for the Professional Feedlot Consultant.
- Cousins, R.J.; Lee-Ambrose, L.M. 1994. Nuclear zinc uptake and interactions and metallothioneine gene expression are influenced by dietary zinc in rats. J. Nutr. 122: 56-64.
- Chirase, N.K.; Hutcheson, D.P.; Thompson, G.B.; Spears, J.W. 1994. Recovery rate and plasma zinc and copper concentrations of steer calves fed organic and inorganic zinc and manganese sources with or without injectable copper and challenged with infectious bovine rhinotracheitis virus. J. Anim. Sci. 72:212-219.
- Chisistian, P.; West, K.P.; JR. 1998. Interactions between zinc and vitamin A: an uptake. AM. J. Clin. Nutr. 68 (suppl). 435S-441S.
- Church, C.D. 1993. El Rumiante, Fisiología digestiva y nutrición.
- Church, C.D.; Underwood, B.A.; Loerch, J.D. 1997. Effect of zinc and vitamin A deficient diets on the hepatic mobilization and urinary excretion of vitamin A in rats. J. Nutr. 106:1773-1781.
- Church, D. C. y W. G. Pond. 1997. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Editorial Limusa, S. A. de C. V. Grupo Noriega Editores. México. pp 438.
- Church, D.C. 2002. Advances in zinc transporters and metabolism. 14th International Symposium on Trace Elements

in Man and Animals. Enshi, Hubei, China. Proceedings, p. 46.

Church, D.C., Phillips, S.R.; Piper, J.M.; Varma, J.S.; Campbell, F.C.; Mathers, J.C.; Ford, D. 2002. Homeostatic regulation of zinc transporters in the human small intestine by dietary zinc supplementation. *Gut* 54: 469-478.

Crater, A. R., P. S. Barboza, R. J. Forster. 2007. Regulation of rumen fermentation during seasonal fluctuations in food intake of muskoxen. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 146: 233-241.

Cronjé P.B. 2000. *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*.

Dukes, M.J. 2000 *Fisiología de los animales domésticos*. De Dukes, Segunda edición.

D'Mello J.P.F. 2000. *Farm Animal Metabolism and Nutrition*.

Godoy S y Chicco CF. 2004. Fuentes alternas de fósforo en la alimentación de ovinos. *Interciencia* 29 (1):33-38.

Gudta, R.P.; Verma, P.C.; Garg, S.L.1997. Effect of experimental zinc deficiency on thyroid gland in guinea-pigs. *Annals Nutr. And Metab.*41:pp. 376-381.

Hidiroglou, M. and Spurr, D.T.1999. Influence of cold exposure and diet change of the trace element composition of hair from shorthorn cattle. *Can.J.Anim.Sci*; 79:pp.31-38.

- Huntington, G.D.; Harmon, D.L.; Kristensen, N.B.; Hanson, K.C. 2005. Effect of a slow release urea source on absorption of ammonia and endogenous production of urea by cattle. *Anim. Feed Sci. Tech*; 130: 225-241.
- Ingsvartsen, M., Anderson, B.R. 2002. Zinc in animal nutrition. Function, deficiency, diagnosis, requirements, supply and absorption. *Ciencia e Inv. Agraria* 20: 182-201.
- Ishler, V., Heinrichs, J. y Varga, G. 1996. *From Feed to Milk: Understanding Rumen Function*. Church & Dwight Co., Inc. College of Agricultural Sciences. Penn State. 27 p.
- Kegley, E.B., and spears, J.W. 1995. Immune response glucose metabolism, and performance of stressed feeder calves fed inorganic or organic chromium. *Journal of animal science*. 73: 2721-2726.
- Kotb, A. R. and T. D. Luckey. 1992. Markers in nutrition. *Nutrition abstracts and reviews*. 42: 813 - 845.
- Krause, K. M., and G. R. Oetzel. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 126: 215-236.
- Kreuzer, M.; Kirchgessner, M. 1994. Effect of oral and i.v. iron on tissue retention and excretion of copper and zinc in growing rats. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 72: 242-251.
- Lee, J.; Treloar, B.P.; Grace, N.D. 1999. Metallothionein and trace element metabolism in sheep tissues in response to

high and sustained zinc dosages. II. Expression of metallothionein m-RNA. *Aus. J. Agric, Res.* 45: 321-332.

Mayland, H.F.; Rosenau, R.C.; Florence, A.R. 1998. Grazing cow and calf responses to zinc supplementation. *J. Anim Sci.* pp.354-367.

Maynard, P.S.; Jondreville, C.; Dourmad, J.Y.; Nys, Y. 2000. Effect of zinc supplemented as either an organic or an inorganic source and of microbial phytase on zinc and other minerals utilisation by weaning pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 116: 93-112.

McDOWELL, L.R. 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Ed. L.R. McDowell. Academic Press, New York. pp: 27-77.

McDowell, L. R.; Conrad, J. H. y Hembry, F.G. 1993. *Minerales para Rumiantes en pastoreo en Regiones Tropicales*. 2da. Ed. Dep. Zoot. Universidad de Florida. Gainesville. USA.

Miller, J.K.; Cragle, R.G. 1995. Gastrointestinal sites of absorption and endogenous secretion of zinc in dairy cattle. *J. Dairy Sc.* 48: 370-373.

Miller, L.V.; Hambidge, K.M.; Naake, V.L.; Hong, Z.; Westcott, J.L.; Fenessey, P.V. 1994. Size of the zinc pools that exchange rapidly with plasma zinc in humans: alternative techniques for measuring and relation to dietary zinc intake. *J. Nutr.* 124: 268-276.

Miller, W.J. 1994. New concepts and developments in metabolism and homeostasis of inorganic elements in dairy cattle. A review. *J. Dairy Sc.* 58: 1549- 1560.

- Miller, W.J. 1996. Zinc nutrition in cattle: a review. *J. Dairy Sci.* 53: 1123-1135.
- Miller, W.J.; Pitts, W.J.; Cliffton, C.M. And schmittle, S.C.1996. Experimentally produced zinc deficiency in the goat, *J.Dairy Sci.*, 47.pp.556-558.
- Minson, D. J.1999. Influence of lignin and silicon on a summative system for assessing the organic matter digestibility of *Panicum*. *Australian Journal of Agriculture Research* 22:589-598.
- Minson, D., Mcleod, C.2002. Recomendaciones sobre metodología para la medición de consumo y digestibilidad *in vivo*. En: M. E. Ruiz y A. Ruiz (Eds.). *Nutrición de Rumiantes: Guía metodológica de investigación*. IICA-ALPA-RISPAL. San José, Costa Rica. 159 - 168 p.
- NRC (National Research Council). *Nutrient requirements of small ruminants*. 2007. Animal nutrition series. The National Academic Press. Washington, D.C.
- Núñez Hernández, G. et al. 1991. Condensed tannins and nutrient utilization by lambs and goats fed low-quality diets. *J. Anim. Sci.* 69: 1167-1177.
- Olivares A.2007. Efecto de la presencia de sombra en el consumo de agua y ganancia de peso de ovinos en pastoreo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento Producción Animal, Santiago, Chile.
- Olivares A., Caro W., González, G.P.2007. Efecto de la presencia de sombra en el consumo de agua y ganancia de

peso de ovinos en pastoreo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento Producción Animal, Santiago, Chile.

Orskov, E.R. 1990. Nutrición de los rumiantes, principios y práctica. Ed. Acribia. 1a. Edición en español. Zaragoza, España. 119 pp.

Orskov, E.R. y McDonald, I. 1998. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of pasaje. Journal Agricultural Science. 92:499-503.

Ott, E.A.; Smith, W.H.; Stob, M.; Beeson, W.M. 1999. Zinc deficiency syndrome in the young lamb. J. Nutr. 82:41-50.

Pechin, G. H.; Idiart, J. L.; Cseh, S.; Corbellini, C. N.; Moralejo, R. H. 1995. Evaluación de dos vías de administración de zinc (oral y parenteral) en bovinos de carne. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol 18 Sup 1.317.

Pierson, R.E. 1996. Zinc deficiency in Young lambs, J. Anim. Vet. Med. Assoc., 149:pp.1.279-1.281.

Pitts, W.J.; Miller, W.J.; Fosgate, O.T.; Morton, J.D.; Clifton, C.M. 1997. Effect of zinc deficiency and restricted feeding from two to five months of age on reproduction in Holstein bulls. J. Dairy Sc. 49:pp.995-1000.

Pond, W.G.; Wallace, M.H. 2002. Effect of gestation-lactation diet calcium and zinc levels and of parenteral vitamins

- A, D and e during gestation on ewe body weight and lamb weight and survival. *J. Anim. Sci.* 63: 1029-1025.
- Poulsen, H.D.1995. Zinc oxide for weanling piglets. *Acta Agric. Scand. Sect. A, Animal Sc.*45:pp.159-167.
- Rojas, L.X.; McDowell, L.R.; Cousins, R.J.; Martin, F.G.; Wilkinson, N.S.; Johnson, A.B.; Velasquez, J.B.1995. Relative bioavailability of two organic and two inorganic zinc sources fed to sheep. *J. Anim. Sci.*73:pp.1202-1207.
- Sager, R. L.; Bustillo, J. M.1997. Deficiencia de Zn en novillos de invernada y agua para bebida de bovinos. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 15 No. 3-4:779-781.
- Stewart, C.S. 1997. Factors affecting the cellulolytic activity of rumen contents. *Appl. Environ, Microb.* 33:497.
- Swenson M.J. 1999 *Fisiología de los animales domesticos.* De Dukes, Segunda edición.
- Swenson, k. c., Harmon, D.L., Jacques, K.A., Larson, B.T., Richards, C.J., Bohner, D.W., and paton, S.J.2006. Efficacy of chromium yeast supplementation for growing beef steers. *Animal feed science technology.*86:pp.95-105.
- Swjrsen K., Hvelplund T., Nielsen M.O. 2006. Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction.pp.153-160.
- Todd, W.R., Elvehjem, C.A., Hart, E.B.1994. Zinc in the nutrition of the rat. *Amer.J. Physiol.*107:pp.146-156.

Underwood E J 1998 Los minerales en la alimentación del ganado vacuno. Editorial Acribia. España, uk 164 pp.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A.2002. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal Dairy Science. 74:3583.

White, J.L. y Ohlrogge, A.J. 1994. Ion exchange materials to increase consumption of non-protein nitrogen in ruminants. Can. Patent 939186, Jan. 2, 1974. 30 p.

Willard, M.2005.Diagnóstico clinicopatológico práctico en pequeñas especies.4^{ta} edición .Ed. Intermédica.

Zhou, J.R.; Erdman, J.W., Jr. 1995. Phytic acid in health and disease. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 35: 495-508.

IX ANEXOS



Figura 3. Ración de alimento para cada animal.



Figura 4. Comederos de plástico en cada una de las jaulas metabólicas.



Figura 5. Panal de tela para la recolección de heces.



Figura 6. Obtención de líquido duodenal.

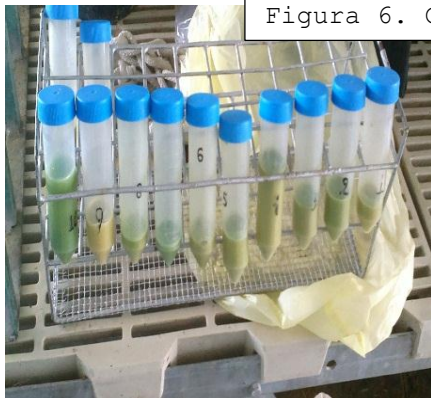


Figura 7. Obtención de líquido ruminal.



Figura 8. Obtención de orina.



Figura 9. Medición del consumo de agua.



Figura 10. Estufa de secado y pañal de recolección de heces para la determinación de digestibilidad aparente.



Figura 11. Ración de alimento y consumo.