



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA

EFEECTO DE LA INCLUSIÓN DE ZEOLITA
NATURAL (CLINOPTILOLITA) SOBRE LA
DIGESTIBILIDAD DE LA DIETA Y EL
NITRÓGENO RETENIDO EN CORDEROS
SUFFOLK EN CRECIMIENTO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

OSWALDO MATAMOROS VALENCIA

Asesores:

Z MC. Augusto César Lizarazo Chaparro
MVZ MPA Dr. Aurora Hilda Ramírez Pérez



México, D. F.

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA:

A mis padres Felipe Cruz Matamoros Morales y Lucia Valencia Sánchez por su ejemplo, enseñanzas y apoyo incondicional y a mis hermanos Alejandro y César por sus consejos y apoyo que siempre me han brindado.

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia en donde me he formado personal y profesionalmente.

A mi asesor Z Augusto César Lizarazo Chaparro por su gran apoyo brindado en la realización de este trabajo, por compartir sus conocimientos y por su amistad.

A mi asesora MVZ Aurora Hilda Ramírez Pérez y al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica por su apoyo en el financiamiento de este trabajo y por su apoyo académico.

Al Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal y al Dr. Javier Gutiérrez Molotla por su apoyo en el financiamiento de este trabajo y porque gran parte de mi desarrollo académico lo debo a este Centro.

Al personal del Laboratorio del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica por las facilidades brindadas en la realización de los análisis de laboratorio.

A mi honorable jurado: la QA. Águeda García Pérez; los MVZ: Jesús Romero Martínez, Jorge Armando Álvarez León, Luis Corona Gochi y el Z. Augusto César Lizarazo Chaparro por el tiempo que dedicaron a la revisión de este trabajo y sus aportaciones.

A todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
Revisión de literatura.....	5
Características de las zeolitas.....	5
Estructuras de las zeolitas.....	5
Origen y tipos de zeolitas.....	7
Zeolitas naturales en México.....	8
Propiedades y usos de los minerales de zeolita.....	9
Utilización de las zeolitas.....	9
Capacidad de intercambio catiónico.....	10
Adsorción.....	11
Las zeolitas en la producción y salud animal.....	11
Producción de no rumiantes.....	11
Producción de rumiantes.....	13
Efectos en la salud de rumiantes.....	14
Mecanismo de acción de las zeolitas.....	15
Efecto de la zeolita sobre digestibilidad de la dieta.....	16
Efecto sobre el metabolismo de los compuestos nitrogenados.....	18
Justificación.....	20
Objetivos.....	21
Hipótesis.....	22

MATERIAL Y MÉTODOS	23
Localización del área de estudio.....	23
Animales experimentales.....	23
Diseño experimental.....	23
Dieta.....	24
Suplemento de zeolita.....	24
Colección de muestras.....	25
Análisis químicos.....	26
Variables de estudio.....	27
Análisis estadístico.....	28
RESULTADOS	29
Consumo de materia seca.....	29
Digestibilidad de la materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.....	30
Nitrógeno retenido aparente.....	30
DISCUSIÓN	31
Efecto de la zeolita en la composición de las dietas.....	31
Consumo de materia seca.....	31
Digestibilidad de la materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.....	32
Nitrógeno retenido aparente.....	35
Discusión general e implicaciones.....	36
Recomendaciones para investigaciones futuras.....	37
Conclusiones.....	39
REFERENCIAS	40

RESUMEN

MATAMOROS VALENCIA OSWALDO. Efecto de la inclusión de zeolita natural (clinoptilolita) sobre la digestibilidad de la dieta y el nitrógeno retenido en corderos Suffolk en crecimiento (bajo la dirección de: Z, MC. Augusto César Lizarazo Chaparro y MVZ, MPA, Dr. Aurora Hilda Ramírez Pérez).

Los altos costos de los alimentos concentrados, así como la creciente preocupación de los consumidores por el uso indiscriminado de aditivos antimicrobianos en la producción animal, hacen necesaria la búsqueda de alternativas en la alimentación animal que promuevan un uso más eficiente de los alimentos por parte de los animales, reduciendo los costos de producción y que a la vez no representen un peligro para el consumidor final. Una de estas alternativas son las zeolitas, las cuales son minerales con una estructura de silicio, aluminio y oxígeno, que poseen propiedades de adsorción y de intercambio catiónico, que podrían modificar las condiciones del ambiente ruminal mejorando la utilización del nitrógeno y la eficiencia alimenticia en los rumiantes.

Con el objetivo de estudiar el efecto de la inclusión de zeolita en la dieta de corderos en crecimiento sobre el consumo de materia seca (CMS), la digestibilidad de la materia seca (DMS), la fibra detergente neutro (DFDN), la fibra detergente ácido (DFDA) y sobre el nitrógeno retenido aparente (NRA), se llevó a cabo un ensayo de digestibilidad aparente con recolección total de heces. Se usaron cuatro corderos Suffolk machos de 90 días de edad y 21.62 ± 1.16 Kg de peso vivo, confinados en jaulas metabólicas individuales y

asignados en un cuadrado latino 4×4 con cuatro periodos y cuatro tratamientos. Se les proporcionó una dieta integrada en base seca por: ensilado de maíz (14 %), heno de avena (20 %) y alfalfa (35 %), concentrado comercial con 16 % de PC (30 %), y una premezcla comercial de minerales (1 %), además de cuatro diferentes niveles de inclusión de una zeolita natural tipo clinoptilolita (ZN-XXX[®]): 0, 2, 4 y 6 %, los cuales consistieron en los diferentes tratamientos. El uso de la clinoptilolita en la dieta no tuvo efecto ($P > 0.05$) sobre las variables de respuesta, CMS, DMS, DFDN, DFDA y NRA. Los resultados no permiten recomendar el uso de la clinoptilolita en condiciones similares a las de este experimento. Sin embargo se sugiere realizar posteriores investigaciones utilizando clinoptilolitas con diferentes composiciones químicas previamente caracterizadas, para investigar su efecto en la digestibilidad de la dieta y en la síntesis de proteína microbiana.

INTRODUCCIÓN

La producción ovina en México se caracteriza por ser una actividad secundaria, llevada a cabo por productores de escasos recursos y por carecer de tecnología; por lo que, en la actualidad no satisface la demanda de carne de esta especie que, se estima, continuará creciendo (Carrera, 2008; Cuellar, 2011).

Por otra parte, en años recientes debido al cada vez más frecuente flujo de capital financiero y a que se le ve como un negocio potencialmente rentable, ha surgido una producción ovina empresarial, que mantiene su pie de cría bajo un sistema semi intensivo y realiza la engorda intensiva (incluso en importantes corrales comunales de engorda), basando la alimentación en concentrados de alto valor nutrimental. Lo que debido al alza en los precios de los granos y pastas oleaginosas a nivel internacional eleva los costos de producción, disminuyendo la rentabilidad de las empresas (Carrera, 2008).

La alimentación es el concepto más importante de los costos totales de producción (cerca al 70 %) y es determinante en el comportamiento productivo de los animales; por lo que, las mejoras en este rubro tendrán el mayor impacto en la eficiencia general de la explotación. La eficiencia alimenticia se define como los gramos de peso ganados por cada kilogramo de materia seca (MS) consumida; una opción para aumentar esta eficiencia es el uso de promotores de crecimiento o llamados también ergotrópicos, que son aquellas sustancias que hacen más eficiente la incorporación de los nutrientes al proceso de crecimiento o simplemente aumentando la cantidad y calidad de los nutrientes disponibles para los tejidos con el fin de aumentar la velocidad de crecimiento,

mejorar la conversión alimenticia y/o la salud de los animales (Sumano, 1996; Shimada, 2009).

En este grupo destaca la utilización masiva de los antimicrobianos, de los que existe una creciente preocupación por la presencia de residuos en la carne destinada al consumo humano, lo que podría desencadenar desde efectos de depresión de la flora intestinal hasta reacciones de hipersensibilidad. Lo anterior ha llevado a los consumidores a exigir formas de producción más “naturales” y a los gobiernos a imponer prohibiciones al uso de antimicrobianos como aditivos alimenticios promotores de crecimiento. Sin embargo, resulta innegable que la interdicción de estos productos tendría un grave efecto sobre la producción animal.

Sin embargo, existen alternativas al uso de antimicrobianos (Sumano et al., 1996; Brizuela et al., 2009). Entre éstas se encuentran las zeolitas, que son un grupo mineral que comprende casi 50 tipos naturales y más de 100 especies sintéticas, que según demuestran investigaciones realizadas desde los años 1960's, al ser incluidas en dietas de rumiantes, han logrado aumentar las ganancias de peso y mejorado la salud general de los animales. Sin embargo, los resultados han sido variables, por lo que nuevos trabajos se han realizado evaluando el uso de zeolitas en distintos sistemas de producción. En México, son pocas las referencias que hay sobre la utilización de zeolitas naturales en la alimentación de rumiantes (Mumpton, 1985; Rivera, 2005).

Revisión de literatura

Características de las zeolitas

Estructura de las zeolitas

Las zeolitas son una clase de aluminosilicatos hidratados, con cationes alcalinos y alcalinotérreos, que tienen una estructura cristalina microporosa tridimensional potencialmente infinita, cuyas principales características son la capacidad de deshidratación que puede ser reversible y la capacidad de intercambiar cationes constituyentes, sin cambios en su estructura (Mumpton, 1977).

La unidad de construcción primaria de las zeolitas es el tetraedro de silicio (SiO_4 ; Fig. 1), formado por un ion de silicio (Si^{4+}) unido a cuatro iones de oxígeno (O^{2-}). Estos últimos son compartidos para formar tetraedros adyacentes, lo que produce una neutralidad eléctrica en la estructura. Sin embargo, en las zeolitas algunos iones de silicio son substituidos por iones de aluminio (Al^{3+}) debido a que éstos tienen un tamaño similar a los de silicio. Esta sustitución produce una deficiencia en cargas positivas que es equilibrada con cationes llamados intercambiables, que pueden ser monovalentes (por ejemplo: Na^+ y K^+) y divalentes (principalmente Ca^{2+}) (Cano, 2004; Mumpton, 1977).

Lo anterior se evidencia en la expresión de la fórmula general de la estructura de una zeolita, la cual se basa en la celda unitaria cristalográfica:



En donde **M** es un catión (intercambiable) metálico alcalino o alcalinotérreo; **n** representa la valencia del catión; **x** y **y** son el número total de tetraedros de aluminio y silicio respectivamente, por celda unitaria, y **m**

corresponde al número de moléculas de agua por celda unitaria. La relación de y/x por lo general tiene valores de 1 a 5 (Georgiev et al., 2009).

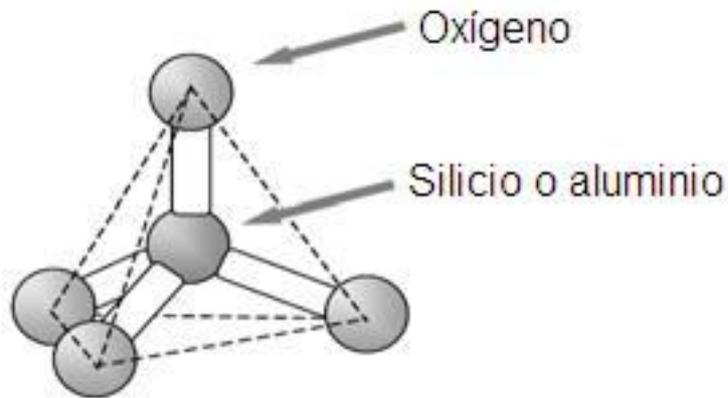


Figura 1. Unidad de construcción primaria (tetraedros de Si y Al) de las zeolitas (Georgiev et al., 2009).

Al conectarse los tetraedros SiO_4 y AlO_4 en arreglos geométricos, forman las unidades de construcción secundarias, las cuales son poliedros como cubos, prismas hexagonales o cubo-octaedros, y que al enlazarse con otros crean redes de cavidades y canales regulares interconectados (Fig. 2 (a) y (b)). La armazón así formada es rígida y es en estos canales donde se localizan las moléculas de agua y los cationes antes mencionados, los cuales pueden ser fácilmente cambiados por otros de forma reversible. (Vizcaíno, 1998; Georgiev, 2009).

Cada especie de zeolita tiene su propia estructura cristalina, por lo tanto sus propiedades físicas y químicas, tienen valores distintos a los de otras especies (Mumpton, 1985).

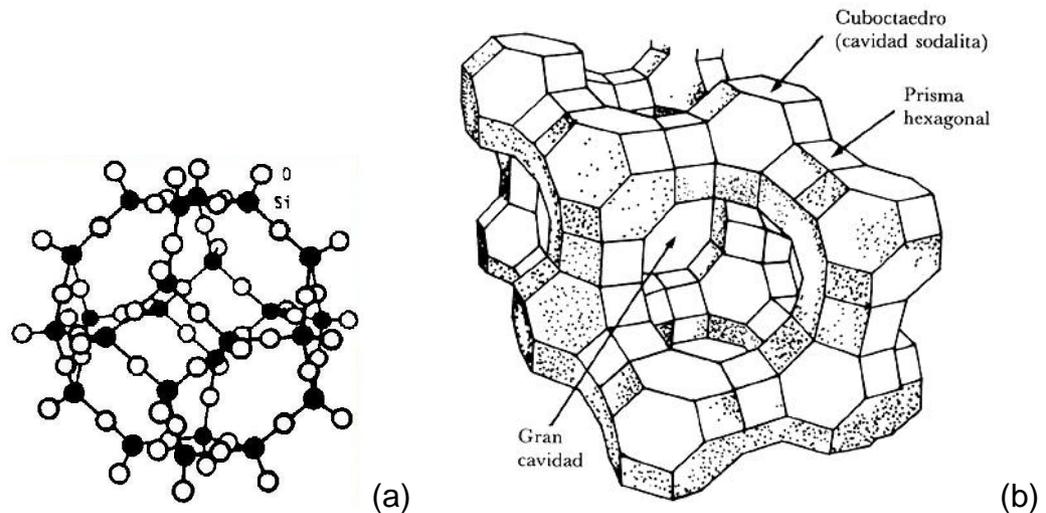


Figura 2. (a) Unidad de construcción secundaria (poliedro simple) (Mumpton, 1985).
 (b) Armazón estructural de las zeolitas. Cubosoctaedros formando la estructura de la faujasita (Bosch y Schifter, 1997).

Origen y tipos de zeolitas

En 1756, el mineralogista sueco Barón Alex Frederick Cronsted observó que al calentar en el mechero un mineral (stilbita), éste parecía hervir, por lo que llamó a este grupo de minerales como “zeolitas”, que proviene de los vocablos griegos: *zeo* (bullir) y *lithos* (piedra) y que quieren decir piedra que hierve (Cano, 2004; Curi et al., 2006). Sin embargo, fue hasta la década de 1950 que aumentó el interés por el estudio y utilización de estos minerales en la industria gracias a los hallazgos de enormes yacimientos de zeolita superficiales y con un alto grado de pureza y la síntesis en el laboratorio de nuevos tipos de zeolitas (Mumpton, 1985; Cano, 2004).

Las zeolitas pertenecen a la clase de los silicatos, al igual que las arcillas, utilizadas en alimentación animal (caolinita, talco, esmectita, sepiolita). A pesar de las semejanzas estructurales y químicas, las zeolitas y arcillas actúan de manera diferente (Castaing, 1998; Gutiérrez et al., 2008).

La familia de las zeolitas está representada por más de 80 especies naturales y 13 series de composición (Coombs et al., 1997; Casting, 1998). Además, de no menos de 100 especies sintéticas (Mumpton, 1985).

Las zeolitas naturales se encuentran en rocas sedimentarias de origen volcánico, donde se encuentra mayormente (50 a 95 %) un sólo tipo de zeolita, aunque también pueden hallarse otros tipos de zeolitas además de vidrio volcánico, cuarzo, feldespato, montmorillonita, yeso, calcita, y cristobalita/tridimita (Mumpton, 1999).

Entre todas las zeolitas naturales, la tipo clinoptilolita es la más importante a nivel mundial por la dimensión de sus yacimientos y la aceptación y uso en la producción animal (Rivera, 2005).

La fórmula general de la serie de clinoptilolita es:



Aunque el contenido de cationes es muy variable, los de K^+ , Na^+ y Ca^{2+} son los más abundantes. Con base en ello se consideran tres especies: clinoptilolita-K, clinoptilolita-Na y clinoptilolita-Ca (Coombs et al., 1997).

En cuanto a las zeolitas sintéticas, la más utilizada es la zeolita A; sin embargo, estas especies son menos estables que las naturales en ambientes ácidos. Esto, debido a la mayor sustitución de silicio por aluminio en su estructura. Esto puede representar una fuente de toxicidad en los no rumiantes debido a que como lo señaló Shariatmadari (2008), el aluminio de las zeolitas sintéticas podría solubilizarse en su tracto digestivo.

Zeolitas naturales en México

Se han registrado yacimientos zeolíticos en más de 40 países (Mumpton, 1985), entre ellos, los que cuentan con mayor potencial y utilización

de estos minerales son: EUA, Alemania, Italia, Japón, Rusia, Cuba, Bulgaria, Hungría, Sudáfrica, Hungría y Francia (Bascañán, 1997; Ostrooumov, 2002).

En el caso de México, la documentación sobre la existencia de depósitos zeolíticos de importancia comercial es escasa. Se han encontrado 17 especies de zeolitas en 18 estados; entre ellos Puebla, San Luis Potosí, Sonora y Oaxaca. En éstos últimos dos estados, se encuentran los depósitos de zeolita más estudiados y posiblemente los de mayor importancia en México (Ostrooumov, 2002).

En un estudio realizado por Vizcaíno (1998), se identificaron como constituyentes principales: clinoptilolita, heulandita y cuarzo, en una zeolita en México donde la clinoptilolita fue el componente mayoritario. También en Oaxaca, Cano et al. (2004) encontraron a la clinoptilolita como zeolita principal de los depósitos ya mencionados.

Propiedades y usos de los minerales de zeolita

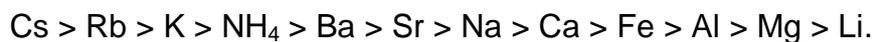
Utilización de las zeolitas

La particular estructura de las zeolitas les confiere propiedades de intercambio catiónico, adsorción, tamizado-molecular, catálisis y deshidratación-rehidratación. Éstas han motivado su explotación en la industria de la construcción; tratamiento de aguas residuales; extracción de elementos radioactivos de desechos nucleares; en la industria petroquímica; desecado de gases; como agentes desodorantes; en medicina; en la agricultura y en la nutrición y salud animal. Esta diversidad de aplicaciones ha llevado a referirse a las zeolitas como “la roca mágica” (Mumpton, 1999).

Entre las diversas propiedades de las zeolitas naturales, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la adsorción son las responsables de aumentar la eficiencia del uso del nitrógeno alimentario en nutrición animal (Rivera, 2005).

Capacidad de intercambio catiónico

La carga superficial debida a la sustitución de un catión tetravalente (Si^{4+}) por un catión trivalente (Al^{3+}) es la responsable de la CIC, ya que para compensar esta carga residual negativa, es necesaria la adsorción química de otros cationes. Cada especie de zeolita tiene su propio patrón de selectividad de cationes (Castaing, 1998), que en el caso de la clinoptilolita es el siguiente:



Ensayos en laboratorio (Leyva et al., 2004a; Tapia et al., 2011) han demostrado que la CIC de las zeolitas en una solución acuosa depende entre otros factores de su naturaleza, composición química, tamaño de partícula, características y concentración en la solución del catión que se intercambia, el pH y la temperatura de la solución, el tiempo de contacto de ésta con la zeolita, además de tratamientos previos con otros cationes.

Las zeolitas naturales tienen una CIC de 2 a 4 miliequivalentes por gramo (meq/g); la clinoptilolita tiene aproximadamente 2.25 meq/g; mientras que, las zeolitas sintéticas pueden alcanzar valores de hasta 10 meq/g. La preferencia de la zeolita por cationes grandes como el amonio (NH_4^+) frente a otros como el sodio ha favorecido su uso en la producción animal (Castaing, 1998; Mumpton, 1999).

Adsorción

Esta propiedad se explica porque a diferencia de los átomos situados en el seno de un sólido, los que se encuentran sobre la superficie no tienen las fuerzas de cohesión compensadas. Por ello, al acercarse una molécula libre a la superficie del sólido, se genera una fuerza de atracción. Por lo tanto, la gran superficie interna que poseen las zeolitas explica su alta eficiencia de adsorción, la cual aumenta a medida que el tamaño de sus poros disminuye (Curi et al., 2006). Sin embargo esto también limita la adsorción a partículas de menor tamaño que el diámetro de dichos poros (Tapia et al., 2011).

Las zeolitas en la producción y salud animal

Producción de no rumiantes

Desde 1966 se han realizado estudios utilizando zeolitas naturales como suplementos dietarios para aves (Onagi, 1966) y posteriormente para cerdos y rumiantes (Mumpton, 1977). De los más de 40 tipos de zeolitas naturales conocidos, únicamente se han probado 10 en la alimentación animal, destacando la clinoptilolita por el número de referencias encontradas (Castaing, 1998).

Shariatmadari (2008) documentó numerosos experimentos en aves de postura y engorda en los que no se han encontrado mejoras significativas ($P > 0.05$) en los parámetros productivos evaluados (consumo de alimento, ganancia de peso, tasa de crecimiento, producción de huevos, peso del huevo, grosor de la cáscara, etc.).

En la producción porcina también se ha probado el uso de zeolitas, experimentos realizados en Japón desde los años 60's, encontraron

disminuciones en las enfermedades y mortalidad de los cerdos (Bascuñan, 1997). También la ganancia de peso ha sido mayor al usarse zeolitas, incluso en lechones nacidos de cerdas alimentadas con este mineral, produciendo un mayor beneficio económico (Maigua, 2007). Estos efectos se han atribuido a que la zeolita adsorbe metabolitos microbianos nocivos (principalmente amoníaco), reduce la velocidad de paso de la ingesta por el intestino lo que mejora la utilización del nitrógeno. En este sentido Meléndez (2005) reporta mejoras ($P \leq 0.05$) en la ganancia diaria de peso, consumo diario y conversión alimenticia al suministrar 4 y 6 % de zeolita en la dieta de cerdos en las fases de inicio y finalización. Sin embargo, también en la producción porcina se encuentran discrepancias, por ejemplo, Méndez et al. (2011) reportaron que la zeolita no produjo efecto en la ganancia de peso, ni en la conversión alimenticia, en cerdos machos y hembras para abasto. Pero, aumentó el consumo en dosis de 4 % de inclusión.

En la acuicultura las zeolitas naturales han sido utilizadas para eliminar el amonio (producido por la descomposición de los excrementos y/o de los alimentos no utilizados) de las aguas de los estanques y acuarios; para aumentar el oxígeno útil en los sistemas de aireación en el acuario, y como aditivo en la alimentación de los peces, representando una disminución en los costos de alimentación (Mumpton, 1985).

El empleo de zeolitas en alimentación y como cama también representa disminuciones en la contaminación ambiental, debido a la reducción de la humedad y el nitrógeno en forma de amoníaco en las excretas animales (Maigua, 2007; Shariatmadari, 2008).

Producción de rumiantes

En la alimentación de rumiantes se han probado dosis tan bajas como 0.5 % para investigar su efecto anti-aflatoxinas en corderos (Castaing, 1998), hasta dosis de 9.0 % de zeolita incluida como base seca en la dieta para investigar su efecto en la digestibilidad y algunos parámetros sanguíneos en corderos (Gahemnia et al., 2010). El uso de zeolita ha logrado elevar 2.6 % la ganancia diaria de peso en becerros por encima de otra dieta sin zeolita (Bascuñán, 1997). Yazdani et al. (2009) proporcionaron a novillos clinoptilolita a razón de 0, 2.5 y 5 % de la MS de la dieta y observaron una ganancia diaria de peso mayor ($P < 0.05$) para la dieta con 5 % en comparación con las otras, sin encontrar diferencia en el consumo diario de MS. Sin embargo, el rendimiento en canal fue mayor ($P < 0.05$) para el grupo sin zeolita.

Pond (1984) investigó el efecto de la adición de 2% de clinoptilolita o 2% de zeolita sintética Na-A en tres dietas para ovinos en crecimiento: una a base de maíz (M), otra a base de maíz y harina de pescado (M-P) y una más a base de maíz y harina de soya (M-S). Encontrando que ninguna de las zeolitas afectó la ganancia diaria de peso, ni el Ca y nitrógeno ureico plasmáticos; sin embargo, el fósforo inorgánico en plasma disminuyó ($P < 0.05$) en comparación con las dietas sin zeolitas.

Stojkovic et al. (2005) obtuvieron en corderos que recibieron durante los primeros 3 meses de vida (desde la lactancia), clinoptilolita en un 0.25 % de la dieta una ganancia diaria de peso 11.76 % superior a la de los corderos del grupo testigo ($P < 0.01$). Al repetir el experimento con menos animales y clinoptilolita al 0.5 %, la ganancia diaria de peso del grupo suplementado, fue 11.79 % superior ($P < 0.01$) al del grupo control (Stojkovic et al., 2012). Mientras que Vargas et al. (2004) reportaron en ovinos pelibuey suplementados

por 42 días con clinoptilolita tratada con óxido de calcio (CaO) una ganancia de peso de 8.57 kg/animal, contra 13.71 kg/animal suplementado con clinoptilolita tratada con urea y 7.07 kg/animal en el grupo testigo ($P < 0.05$).

Efectos en la salud de rumiantes

Estudios realizados en rumiantes no han encontrado efectos adversos en parámetros hematológicos, y sí una disminución en la incidencia de enteritis en los animales experimentales; en tanto que experimentos realizados en ratones sugieren que la administración a largo plazo de clinoptilolita podría causar alteraciones hematológicas (Katsoulos, 2005; Norouzian, 2010).

En un estudio en el que se suplementó a ovejas con 0.15 g de clinoptilolita por kg de peso vivo durante tres meses, no se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en el estado de salud, ni comportamiento general de los animales (Bartko et al., 1983).

Estudios con zeolitas naturales y sintéticas han probado su eficacia en la prevención de intoxicaciones por amoníaco, metales pesados y en la absorción de elementos radioactivos. Un papel destacado es el de su utilización como adsorbente de micotoxinas (Papaioannou et al., 2005). De hecho, se ha sugerido que la captación de aflatoxinas podría ser la aplicación más importante en la alimentación animal (Castaing, 1998).

En el ganado lechero las evidencias sugieren un papel en la prevención de la fiebre de leche (Papaioannou et al., 2005) y en la cetosis, como lo demuestra un estudio en el que se proporcionó a un grupo de vacas 1.25 % de clinoptilolita, a otro 2.5 % y otro fungió como control, observándose una disminución ($P < 0.05$) en la incidencia de cetosis y un aumento en la producción total de leche ($P < 0.05$) en vacas a las que se les proporcionó 2.5

% de clinoptilolita contra el grupo que recibió 1.25 % y el grupo control (Katsoulos et al., 2006).

Recientemente se demostró la efectividad de la clinoptilolita para disminuir la coccidiosis en ovejas y corderos, al reducir ($P \leq 0.05$) en un 97 % y 98 % respectivamente la producción de ooquistes de *Eimeria* spp., proporcionando a las ovejas 1.25 % de clinoptilolita en el alimento por 30 días antes y 42 días después del parto. Aunque, no se identificó el mecanismo por el que la zeolita logró disminuir la infección (Alcalá et al., 2011).

Mecanismo de acción de las zeolitas.

Si bien, no se conoce el mecanismo específico a través del cual actúa la zeolita, se ha sugerido que la eficiencia alimenticia en los rumiantes puede ser mejorada debido a que la zeolita capta los iones amonio formados por la degradación de las proteínas o del NNP en el rumen, para después intercambiarlos por el Na^+ de la saliva. Manteniendo así, el suministro de NH_4^+ casi constante para los microorganismos ruminales, ya que hasta un 15 % del NH_4^+ en el rumen puede ser absorbido por la zeolita. De esta forma se satisfacen, en parte, los requerimientos de nitrógeno amoniacal (N-NH_3) de los microorganismos ruminales, permitiéndoles sintetizar continuamente proteína microbiana (Mumpton, 1977; Gutiérrez, 2008).

Además, debido a que las zeolitas contienen potasio, magnesio y otros iones metálicos indispensables para el crecimiento de las bacterias celulolíticas, se produce un aumento en su masa y actividad, lo que conlleva a una mejor digestibilidad de las dietas fibrosas (Rivera, 2005; Gutiérrez, 2008). Al respecto, Goodarzi y Nenekarani (2012) encontraron que 4 % de clinoptilolita cálcica no aumentó el total de bacterias ruminales; pero sí aumentó ($P < 0.05$)

la población bacteriana celulolítica, comparada con la clinoptilolita potásica y el control, debido a que logró mejorar el ambiente ruminal para este tipo de bacterias aumentando el pH y manteniendo el nivel de N amoniacal más estable a lo largo del tiempo postprandial. Esto demuestra que la zeolita puede funcionar como amortiguador del pH probablemente al intercambiar sus cationes por H^+ en un ambiente ácido.

Otra forma en que las zeolitas logran aumentar el crecimiento en el ganado es al prevenir enfermedades metabólicas, infecciosas o toxicológicas.

Efecto de la zeolita sobre digestibilidad de la dieta

El análisis químico de un alimento sólo indica su composición, sin embargo, también es necesario conocer el aprovechamiento de los nutrientes por parte del animal que los consume. En este sentido la digestibilidad se refiere a la proporción del contenido de nutrientes del alimento que después de su paso por el tracto gastrointestinal no aparecen en las heces. La digestibilidad es afectada por factores del animal (especie, etapa productiva) y del alimento (composición química del alimento, procesamiento tecnológico, nivel de alimentación, etc.; Shimada, 2009; Rodríguez, 1990).

En este aspecto la zeolita podría aumentar la digestibilidad de las dietas altas en fibra, debido a su efecto regulador del pH y la interacción con el NH_4^+ (Mumpton, 1999), ya que las poblaciones bacterianas celulolíticas presentan un crecimiento óptimo a un pH de 6.3 a 6.8, y requieren $N-NH_3$ como principal fuente de N en comparación de las bacterias que degradan carbohidratos no estructurales, las cuales requieren además péptidos y aminoácidos (Restrepo y Suárez, 2005; Giraldo, 2005).

Adicionalmente, se ha sugerido que la zeolita podría interactuar uniéndose físicamente a las partículas de fibra y a los microorganismos del rumen modificando la velocidad de paso de la digesta y facilitando la actividad bacteriana sobre la fibra (Ghaemnia, 2010) lo que permite una mayor disponibilidad de los productos de la digestión de la pared celular y proteger a las bacterias adheridas de la predación por parte de otros microorganismos. Todo esto tendría un impacto directo sobre la digestibilidad de las partículas de fibra (Restrepo y Suárez, 2005).

Al respecto, Forouzani et al. (2004) reportan que al alimentar *ad libitum*, a tres grupos de corderos machos Mehraban de 310 ± 11 días de edad y 33.2 ± 1.7 kg de peso, con una dieta que contenía ensilado de maíz tratado con urea y suplementando a dos de ellos con 30 y 60 g de zeolita por kg de alimento; la digestibilidad de la MS y proteína cruda (PC) aumentaron significativamente ($P < 0.05$), Adicionalmente, en el grupo alimentado con 30 g de zeolita hubo un aumento ($P < 0.05$) en la digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN) comparado con el testigo. Estos autores también reportan un aumento en el consumo de MS para el tratamiento con 60 g de zeolita en comparación al testigo.

En otro experimento realizado en corderos de raza Árabe de 35 ± 2 kg de peso y 5 meses de edad, suplementados con zeolita (al 0, 3, 6 y 9 % de inclusión), Gahemnia et al. (2010) encontraron una reducción significativa ($P < 0.05$) en la digestibilidad de MS y FDA cuando se utilizaron inclusiones de 9 %. La digestibilidad de PC y FDN se incrementaron significativamente ($P < 0.05$) en la inclusión del 6 %. Adicionalmente no encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el consumo de MS entre los tratamientos.

Gutiérrez et al. (2008) alimentaron vacas secas con pasto estrella y harina de soya, sin encontrar efecto ($P > 0.05$) en el consumo y la digestibilidad de MS y PC entre la dieta testigo y la adicionada con 100 g de una zeolita sin especificar.

Sadeghi y Shawrang (2006) alimentaron novillos Holstein con tres dietas: una a base de maíz y harina de soya (A), otra substituyendo la harina de soya por 20 g/kg de urea (B) y la tercera igual a B, pero adicionando 30 g/kg de zeolita (C). Estos autores no encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el consumo de MS entre los tratamientos. Aunque no reportaron diferencia en la digestibilidad de la MS, materia orgánica ni PC. La dieta C mostró un aumento ($P < 0.05$) en la digestibilidad de FDN y FDA respecto a B.

En otro experimento (Mc Collum y Galyean, 1983) con novillos alimentados con un alto porcentaje de concentrado, sólo se obtuvo un aumento ($P < 0.05$) de la digestibilidad de MS con 1.25 % de clinoptilolita con respecto a dosis de 2.5 y 5 %. Por su parte el consumo y digestibilidad de PC no fueron afectados ($P > 0.05$) por la zeolita.

Ruíz et al. (2008) suministrando una dieta de heno de alfalfa y concentrado a borregos pelibuey encontraron que al suministrar 1.5 y 3 % de zeolita en la dieta se mejoró el consumo de FDA digestible ($P = 0.002$), respecto al grupo testigo y al que recibió 4.5 % de zeolita. Sin embargo, no encontraron diferencias significativas en la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y FDA.

Efecto sobre el metabolismo de los compuestos nitrogenados.

Las fuentes dietarias de nitrógeno incluyen proteína verdadera y nitrógeno no proteínico (NNP). Éstas últimas incluyen: urea, sales de amonio,

ácidos nucleicos, amidas, aminas, nitratos y aminoácidos. Adicionalmente, al rumen también llegan fuentes de N endógeno, que incluyen a la urea reciclada por la saliva o del epitelio ruminal y las células de descamación. El NNP es degradado por enzimas microbianas en el retículo-rumen hasta amoniaco (NH_3); mientras que las proteínas se degradan a péptidos, aminoácidos y finalmente amoniaco, los cuales son aprovechados por los microorganismos ruminales para la síntesis de proteína microbiana. Finalmente la proteína microbiana más la proteína que escapa al rumen (o de sobrepaso) proveen de aminoácidos al animal (Giraldo, 2005; Mejía, 2007; Shimada, 2009). En el rumen se requiere un nivel óptimo de N- NH_3 , que *in vitro* se ha estimado en 5 mg/dL para que la síntesis de proteína microbiana sea máxima. Sin embargo, para dietas altas en fibra y bajas en proteína, la concentración debe ser de 20 mg/dL (Restrepo y Suárez, 2005).

Por otra parte, el exceso en la producción de NH_3 en el rumen se puede reflejar en un aumento de urea en plasma (Giraldo, 2005). En este sentido, al unirse la zeolita al amonio formado en el rumen después de la ingesta (sobre todo en dietas con N soluble), se logran controlar los niveles de amoniaco (NH_3) en el rumen, reduciendo su absorción. La dosis máxima requerida de clinoptilolita para lograr este efecto de disminución de NH_3 en rumen se sitúa alrededor del 6 % del concentrado (Siti y Adriani, 2011). Mientras que el nivel de N de urea en plasma se ha logrado disminuir ($P < 0.05$) con dosis de 9 % de zeolita (Ghaemnia, 2010).

En un trabajo realizado en corderos de 10 meses de edad (Forouzani, 2004), cuatro horas después de ser alimentados con cebada, heno de alfalfa y ensilado de maíz tratado con urea, los niveles de amoniaco en rumen fueron más altos ($P < 0.05$) cuando se adicionaron 30 y 60 g de zeolita por kg de

dieta, al mismo tiempo que se registró un nivel más bajo de nitrógeno de urea en sangre en comparación al testigo (sin zeolita). Dos horas después, este parámetro fue mayor ($P < 0.05$) para la dieta con 60 g de zeolita.

Al comparar cuatro niveles de clinoptilolita (2, 4, 6 y 8 %) contra un control en una dieta que contenía urea, suministrada a ovejas; Siti y Adriani (2011) encontraron una mayor ($P < 0.05$) eficiencia de utilización de nitrógeno dietario en los animales del grupo suplementado con 6 % de zeolita, contra los del grupo control. Dichos coeficientes fueron de 14.88 y 6.27 para el grupo 6 % y control respectivamente.

Justificación

En México es escasa la literatura generada sobre la utilización de las zeolitas nacionales y sus efectos en la digestibilidad en las dietas empleadas comúnmente en la alimentación de los ovinos. Por lo tanto, las recomendaciones prácticas sobre el porcentaje de inclusión de éstas en la dieta son también escasas. Debido a ello y para responder a estas necesidades, se diseñó una prueba de digestibilidad *in vivo* para establecer el nivel óptimo de su utilización en condiciones de estabulación total para corderos en crecimiento.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de cuatro niveles de inclusión (0, 2, 4 y 6 %) de clinoptilolita en la dieta para corderos, utilizando la técnica de digestibilidad aparente de la materia seca y retención de nitrógeno, para realizar recomendaciones prácticas sobre el porcentaje de inclusión en la dieta.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de inclusión de clinoptilolita (0, 2, 4 y 6 %), sobre el consumo de materia seca en corderos en crecimiento.
- Establecer el efecto de cuatro niveles de inclusión (0, 2, 4 y 6 %) de clinoptilolita en la dieta sobre la digestibilidad de la MS y de las paredes celulares en ovinos en crecimiento.
- Estimar la retención aparente de nitrógeno en corderos alimentados con cuatro niveles de clinopilolita (0, 2, 4 y 6 %).

Hipótesis

- El consumo de materia seca de corderos en crecimiento disminuirá en relación directa al nivel de clinoptilolita incluido en la dieta.
- La digestibilidad de la materia seca aumentará en función del nivel de inclusión de este mineral.
- La digestibilidad de la pared celular se incrementará en función al nivel de utilización de clinoptilolita.
- La retención de nitrógeno aumentará en función del nivel de inclusión de la zeolita.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El experimento se realizó en la unidad metabólica del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica (DNAB) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada dentro de las instalaciones del Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEIPSA), localizado en San Miguel Topilejo, Delegación Tlalpan, D.F. A una altura de 2,760 m sobre el nivel del mar, el clima de la región corresponde a semifrío semihúmedo con lluvias en verano, con una temperatura promedio de 19°C (FMVZ n.d.).

Animales experimentales

Se utilizaron cuatro corderos Suffolk machos de 89.75 ± 1.26 días de edad, con peso promedio de 21.62 ± 1.16 kg previamente desparasitados con toltrazuril ¹ y vitaminados. ² Alojados bajo techo en jaulas metabólicas individuales de 1.05×0.60 m con comederos y bebederos individuales.

Diseño experimental

Correspondió a un cuadrado latino 4×4 , asignando cada cordero a un tratamiento por periodo, durante 4 periodos experimentales. Los tratamientos correspondieron a cuatro diferentes porcentajes de inclusión de zeolita en la

¹ Baycox® 5 %

² Polivit® B12 + ADE

dieta: Z0 = dieta basal + 0 % de zeolita, Z2 = dieta basal + 2 % de zeolita, Z4 = dieta basal + 4 % de zeolita y Z6 = dieta basal + 6 % de zeolita.

Dieta

La dieta basal fue formulada de acuerdo a los requerimientos establecidos en el NRC (2007) y estuvo compuesta por: ensilado de maíz (14 %), heno de avena (20 %) y alfalfa (35 %), concentrado comercial con 16 % de PC (30 %), y una premezcla comercial³ de minerales (1 %) con la siguiente composición: calcio: 140 g/kg; magnesio: 10 g/kg; sal: 300g/kg; manganeso: 2.5 g/kg; zinc: 3 g/kg; iodo: 0.05 g/kg; cobalto: 0.125 g/kg y selenio: 0.0125 g/kg. En el caso de Z2, Z4 y Z6 la clinoptilolita substituyó al ensilado de maíz.

La dieta fue molida y posteriormente se mezcló el heno de avena y alfalfa, junto con la zeolita y al igual que el concentrado fueron pesados el día anterior y mientras que el ensilado fue pesado al momento de ofrecer el alimento.

Suplemento de zeolita

Se utilizó un suplemento comercial⁴ de zeolita natural tipo clinoptilolita con pureza de 58.29 %, el resto corresponde a cuarzo (37.43 %) y carbonato de calcio (3.87 %); con una dureza de 4 moh's y cuya composición química se presenta en el cuadro 1.

³ Fosforysal®

⁴ ZN-XXX® ZEOLITECH S. de R.L. de C.V. – C. Vieja #100, col. Lomas de Coyuca, Cuernavaca, Morelos, México.

Colección de muestras

Previo al inicio de la experimentación, los animales se adaptaron a la jaula metabólica y a la dieta por 12 días. Sin embargo, uno de los corderos no se adaptó, por lo que fue reemplazado por otro, extendiéndose el tiempo de adaptación a 19 días. El experimento incluyó cuatro periodos, cada uno de ellos con dos fases: la adaptación a la dieta y la colección de muestras con una duración de 7 y 6 días, respectivamente.

Cuadro 1	
COMPOSICIÓN QUÍMICA* DE LA ZEOLITA USADA EN EL EXPERIMENTO	
Elemento	%
SiO ₂	49.570
TiO ₂	0.394
Al ₂ O ₃	11.307
Fe ₂ O ₃	2.560
MnO	0.046
MgO	4.106
CaO	12.238
Na ₂ O	1.332
K ₂ O	2.985
P ₂ O ₅	0.190
Pérdida por calcinación	15.54
Elementos traza (ppm): Rb (79), Sr (483), Ba (421), Y (22), Zr (156), V (141), Cr (33), Co (14), Ni (23), Cu (51), Zn (56), Th (9), Pb (14).	
Ficha técnica de "ZN-XXX", proporcionada por la empresa ZEOLITECH S. de R.L. de C.V. – C. Vieja #100, col. Lomas de Coyuca, Cuernavaca, Morelos, México.	
* Valores reportados por el Instituto de Geología, UNAM. Ciudad de México, México, proporcionados por Zeolitech S. de R.L. de C.V.	

Durante cada periodo de colección, la alimentación fue proporcionada *ad libitum* dos veces al día (9:00 y 14:00 h) considerando un incremento del 15 % respecto al consumo del día anterior. Los animales tuvieron acceso voluntario al agua.

Los rechazos fueron retirados y pesados diariamente. Del alimento ofrecido y el rechazado se tomaron muestras de 50 g diariamente, las cuales fueron deshidratadas a 120 °C durante 24 h para cuantificar la MS, formando para cada animal al final de cada periodo una muestra compuesta de alimento ofrecido y otra del alimento rechazado.

La colección de heces se realizó 24 h después de iniciado el periodo de colección y finalizó 24 h después de terminado el mismo. Se pesó el total de heces producidas en 24 h utilizando una balanza (Ohaus[®] CT6000, con capacidad de 6,010 × 0.5 g), para tomar una alícuota de 10 %, la cual fue deshidratada a 120 °C durante 24 horas en un horno de aire forzado y al final de cada periodo de colección se preparó una muestra compuesta por animal.

La orina fue recolectada diariamente en recipientes de plástico al que se le agregaron previamente 50 mL de una disolución al 10 % (v/v) de ácido sulfúrico, midiendo el volumen de orina y tomando una alícuota de 10 % del total producido, con el fin de formar al final de cada periodo una muestra compuesta por animal, la cual fue conservada en congelación hasta que fue llevada al laboratorio para ser procesada.

Análisis químicos

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio del DNAB, donde las muestras de alimento y heces antes de ser procesadas fueron molidas con una malla de 1/2 mm, utilizando un molino de martillos Arthur H Thomas[®].

Al alimento ofrecido se le realizó un Análisis Químico Proximal (AQP). Mientras que en las heces, alimento ofrecido y rechazado fueron cuantificados la MS, Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA) y el

contenido de Nitrógeno (N). En las muestras de orina, se cuantificó el contenido de N.

El AQP la MS y la determinación de N se realizaron mediante los procedimientos descritos por la AOAC (2012), empleando para la determinación del N (unidad de digestión Büchi® k-435 y destilador Kjelflex® K360) el método oficial 954.01 de la AOAC (2012). La determinación de FDN y FDA se realizó según la metodología de Van Soest (1991); utilizando un analizador ANKOM® (modelo 200/220).

Variables de estudio

Se determinaron las siguientes variables:

1) Consumo de materia seca (CMS):

$$CMS (g) = MS \text{ ofrecida } (g) - MS \text{ rechazada } (g)$$

2) Digestibilidad de la materia seca (DMS):

$$DMS (\%) = \frac{MS \text{ consumida } * (g) - MS \text{ excretada } (g)}{MS \text{ consumida } (g)} \times 100$$

3) Digestibilidad de la fibra detergente neutro (DFDN):

$$DFDN (\%) = \frac{FDN \text{ consumida } * (g) - FDN \text{ excretada } (g)}{FDN \text{ consumida } (g)} \times 100$$

4) Digestibilidad de la fibra detergente ácido (DFDA):

$$FDA (\%) = \frac{FDA \text{ consumida } * (g) - FDA \text{ excretada } (g)}{FDA \text{ consumida } (g)} \times 100$$

5) Nitrógeno retenido aparente (NRA):

$$NRA (g) = N \text{ consumido } * (g) - N \text{ fecal } (g) - N \text{ urinario } (g)$$

* Los consumos fueron calculados restando los gramos de nutrientes en el alimento rechazado, a los gramos de nutriente en el alimento ofrecido.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron como un diseño de Cuadrado Latino 4×4 usando el procedimiento GLM de SAS Inc. (1999). Posteriormente se realizó un análisis usando la comparación de medias de Tukey.

El modelo estadístico para el cuadrado latino es:

$$Y_{ij(k)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_{(k)} + \varepsilon_{ij(k)} \quad i = 1, 2, \dots, r_j \quad j = 1, 2, \dots, t$$

Donde:

$Y_{ij(k)}$ = variable de respuesta (CMS, DMS, DFDN, DFDA o NRA)

μ = media general

α_i = efecto del ovino i

β_j = efecto del periodo j

$\tau_{(k)}$ = efecto del tratamiento k

$\varepsilon_{ij(k)}$ = error experimental.

RESULTADOS

En los resultados de los análisis bromatológicos realizados al alimento (uno por cada periodo para cada tratamiento) se observa (cuadro 2) que la MS aumentó al incrementar la dosis de zeolita. Lo mismo ocurrió con las cenizas y las fracciones de la fibra. Un efecto inverso se observa en el extracto libre de nitrógeno.

Cuadro 2				
COMPOSICIÓN QUÍMICA* PROMEDIO DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES				
Item	Tratamiento**			
	Z0	Z2	Z4	Z6
Materia seca (%)	64.63	69.38	69.38	71.67
Proteína cruda	12.30	12.74	12.48	13.58
Extracto etéreo	3.63	3.46	4.31	3.06
Cenizas	10.67	11.99	12.81	14.19
Fibra cruda	21.16	21.52	20.96	20.69
Extracto libre de nitrógeno ***	52.24	50.30	49.44	48.48
Fibra detergente ácido	29.49	30.47	30.10	32.62
Fibra detergente neutro	50.46	51.55	51.65	52.60

* Expresado como porcentaje en base seca

** Inclusión de zeolita: Z0= 0 %; Z2= 2 %; Z4= 4 %; Z6= 6 % de la dieta en base seca

*** Calculado por diferencia

Consumo de materia seca

El cuadro 3 muestra los resultados del CMS, el cual estuvo entre 995.58 y 1,064.36 g/día. De acuerdo al análisis estadístico de los datos la diferencia entre los tratamientos no fue significativa ($P > 0.05$).

Digestibilidad de la materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido

Los valores de la digestibilidad de la materia seca, la fibra detergente neutro y la fibra detergente ácido, se presentan en el cuadro 3.

El análisis estadístico de la información mostró que los diferentes tratamientos no tuvieron efectos ($P > 0.05$) sobre la DMS, DFDN y DFDA.

	Tratamiento*				EEM	Valor P
	Z0	Z2	Z4	Z6		
CMS (g/d)	1,064.4	1,006.2	1,004.7	995.6	15.72	0.50
DMS (%)	58.88	59.55	57.25	55.69	0.87	0.39
DFDN (%)	50.47	55.81	53.81	53.10	1.10	0.38
DFDA (%)	43.61	47.68	41.43	46.78	1.44	0.63

* Inclusión de zeolita: Z0= 0 %; Z2= 2 %; Z4= 4 %; Z6= 6 % de la dieta en base seca
EEM error estándar de la media

Nitrógeno Retenido Aparente

Los gramos de nitrógeno retenidos por día para cada tratamiento se muestran en el cuadro 4. Donde se observa que no hubo diferencia estadística ($P > 0.05$) entre los tratamientos.

Variable	Tratamiento*				EEM
	Z0	Z2	Z4	Z6	
N consumido g/d	22.23	21.56	21.39	23.30	0.43
N en heces g/d	8.37	6.96	6.58	7.21	0.39
N en orina g/d	3.83	1.92	2.02	6.15	0.99
N retenido aparente** g/d	10.02	12.69	12.79	9.93	0.80

*Inclusión de zeolita: Z0= 0 %; Z2= 2 %; Z4= 4 %; Z6= 6 % de la dieta en base seca.

EEM error estándar de la media

** Valor P = 0.87

DISCUSIÓN

Efecto de la zeolita en la composición de las dietas

Las modificaciones en la composición química de las dietas con zeolita, son similares a las encontradas en la literatura (Mc Collum y Galyean, 1983; Vargas et al., 2004; Sadeghi y Sawrang, 2006). En las dietas donde se incluyó la zeolita aumentó la MS y las cenizas debido al gran contenido de estas últimas (84.5%) de la zeolita utilizada; mientras que los cambios en la proteína cruda posiblemente se dieron por las propiedades de intercambio catiónico de la misma, al unirse con el NH_4^+ del ensilado antes de que éste se volatilizara en forma de amoniaco (NH_3) durante el secado de las muestras, también pudo deberse a que diariamente se tomó el ensilado de diferentes sitios en el silo.

Por otra parte, el aumento en las fracciones de la fibra en las dietas con clinoptilolita podría deberse a que en esta fracción también aparece el silicio, el cual forma una parte importante en la estructura de las zeolitas. Finalmente la disminución del extracto libre de nitrógeno en las dietas con zeolita se debió a un efecto de dilución, ya que la zeolita no aporta ninguno de estos nutrientes (azúcares, almidones, pectinas), mientras que el ensilado de maíz por el que se sustituyó sí.

Consumo de materia seca

El consumo de materia seca (CMS) coincide con los 1.05 kg de MS/d señalados por el NRC (2007) para corderos en crecimiento de 30 kg de peso corporal, con una ganancia diaria de 200 g/día, considerando que el promedio

de peso antes de comenzar las mediciones fue de 24.00 ± 1.76 kg y al terminar el experimento fue de 31.1 ± 4.36 kg.

Los resultados en el consumo de materia seca concuerdan con lo reportado por Ruiz et al. (2008) quienes administraron la zeolita por vía intraruminal. Además de lo reportado por Ghaemnia et al. (2010), quienes usaron hasta 9 % de zeolita en la dieta no encontrando diferencias en el CMS, en este sentido, Gutiérrez et al. (2008) al suministrar 100 g de zeolita mezclada con un kg de harina de soya a vacas secas tampoco encontraron diferencias en el CMS; al igual que Mc Collum y Galyean (1983), quienes emplearon hasta 5 % de partículas menores a 100 micrometros; Sadeghi y Shawrang (2006), al utilizar 3 % y Sherwood et al. (2005), quienes usaron 1.2 %. En estos últimos tres trabajos se adicionó clinoptilolita a dietas para novillos con más de 80 % de concentrado.

Forouzani et al. (2004) utilizaron partículas menores a 1 mm y reportaron un aumento en el CMS usando 6 % de clinoptilolita, el cual se atribuyó en parte a la misma adición de zeolita, pues se ha mencionado que dosis altas de hasta 10 % de zeolita podrían producir cambios en la concentración de algunos nutrientes (proteína, energía, minerales) con un consecuente desbalance en la dieta (Shariatmadari, 2008).

Digestibilidad de la materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido

Los resultados encontrados en el presente estudio, confirman lo reportado por Ruiz et al. (2008) y Ghaemnia et al. (2010), quienes tampoco encontraron efecto en la DMS y DFDA con dosis de hasta 6 % de zeolita. Gutiérrez et al. (2008) tampoco encontraron efecto sobre la DMS al

suplementar con 100 g de zeolita a vacas secas. Sadeghi y Shawrang (2006) tampoco reportan efecto sobre la DMS al suplementar con 3% de clinoptilolita una dieta con urea para novillos. De igual forma Mc Collum y Galyean (1983) no encontraron efecto del uso de hasta 5% de clinoptilolita sobre la DMS total, sin embargo si observaron una tendencia a aumentar la DMS a nivel del rumen con respecto a nivel intestinal en los tratamientos con zeolita debido a que este mineral actúa mejorando las condiciones en el rumen para la proliferación de las bacterias celulolíticas principalmente.

Usando dietas con una proporción forraje: concentrado similar a la empleada en la presente investigación (70:30), los coeficientes de digestibilidad reportados por Ruiz et al. (2008) y por Forouzani et al. (2004) fueron superiores a los encontrados en el presente estudio debido a que utilizaron heno de mejor digestibilidad y contenido proteínico. Los primeros investigadores usaron una dieta con concentrado con 18 % de PC y la DMS de la dieta control fue de 67.9 %; mientras que los segundos investigadores usaron ensilado de maíz y heno de alfalfa con 10.5 y 14.5 % de PC respectivamente y reportan una DMS para el grupo control de 64 %.

Algo similar sucedió con los datos mostrados por Mc Collum y Galyean (1983), así como Sadeghi y Shawrang (2006), quienes obtuvieron valores de DMS superiores a 70 % debido a que emplearon raciones con más de 80 % de concentrado. Mientras que Ghaemnia et al. (2010) reportaron coeficientes de DFDN y DFDA de 33.67 a 44.47 y de 24.47 a 34.52 % respectivamente, los cuales fueron inferiores a los de este trabajo debido a que estos investigadores utilizaron niveles mayores de concentrado en la dieta, lo que ocasiona una disminución de la digestibilidad de las fracciones fibrosas de la dieta (Rodríguez y Llamas, 1990; Restrepo y Suárez, 2005). Por su parte Gutiérrez

et al. (2008) encontraron valores de DMS menores (31.29 a 49.76 %) debido probablemente a que estimaron la DMS a partir de un marcador interno (ceniza ácido insoluble).

Sin embargo, los resultados encontrados en este trabajo no coinciden con lo encontrado por Forouzani et al. (2004), quienes reportaron un aumento en la digestibilidad de la MS con 3 y 6 % de zeolita (73 y 75 % respectivamente) frente al testigo (64 %), estos valores fueron muy superiores a los obtenidos en el presente trabajo. Algo similar ocurrió con la DFDN, que fue superior cuatro puntos porcentuales para el tratamiento con 3 % de zeolita respecto al testigo (74 %) en dicho trabajo.

En el presente estudio no se encontraron cambios en la DMS debido a que tampoco se modificó la digestibilidad de los nutrientes analizados, ni la retención de nitrógeno aparente. Además, la misma zeolita podría no ser digestible debido a su estructura de silicio.

En cuanto a la digestibilidad de las fracciones de la fibra, los resultados se contraponen al aumento en la DFDN y DFDA reportado por Sadeghi y Shawrang (2006) con dietas para novillos con urea y 3 % de zeolita. A pesar de esto, la ausencia de significancia de los resultados encontrados para la DFDA coinciden con los resultados de Forouzani et al. (2004) y Ghaemnia et al. (2010) en tratamientos de hasta 6 % de zeolita.

Las falta de significancia en los resultados encontrados en el presente trabajo pueden deberse en gran medida al suplemento de zeolita utilizado. La pureza de la clinoptilolita utilizada en este estudio (58.3 %) se encuentra entre los límites señalados por Mumpton (1999) (50 a 95 %). Sin embargo, se encuentra cercana al límite más bajo. Por lo que al incrementarse la dosis del producto comercial de zeolita, también se incrementó la proporción de cuarzo y

carbonato de calcio (presentes en el suplemento de manera natural) en la dieta, esto se vio reflejado en el aumento de las cenizas en las dietas con zeolitas. Tomando en cuenta que altas cantidades de minerales (de cualquier tipo) disminuyen la digestibilidad de la dieta (Rodríguez y Llamas, 1990), el efecto del cuarzo sobre la digestibilidad contrarrestaría el aumento que pudiese haberse esperado por la clinoptilolita pura.

Nitrógeno retenido aparente

Son escasos los trabajos en los que se ha investigado la influencia de las zeolitas en el nitrógeno retenido aparente en rumiantes, para realizar una comparación con el presente estudio; sin embargo, se puede señalar una coincidencia con lo reportado por Sherwood et al. (2005), quienes suplementaron con 1.2 % de clinoptilolita la dieta para novillos sin encontrar efecto de la zeolita en la retención de nitrógeno al calcular este parámetro mediante las ecuaciones del NRC (1996) para proteína y energía netas.

Por otra parte, un parámetro que sí se ha estudiado con mayor frecuencia, es la digestibilidad aparente de la proteína cruda, la cual es un indicador menos exacto del metabolismo de los compuestos nitrogenados, pues no toma en cuenta la excreción urinaria de nitrógeno (N). Tomando en cuenta dicha limitación, se puede decir que los resultados están de acuerdo con lo encontrado por Gutiérrez et al. (2008), quienes usaron 100 g de zeolita en vacas secas y por Sadeghi y Shawrang (2006) quienes no encontraron diferencias en la digestibilidad de la proteína cruda al utilizar 3 % de clinoptilolita.

Otros autores si han encontrado efectos en el metabolismo del N. Forouzani et al. (2004) encontraron un incremento en la digestibilidad de PC;

mientras que Siti y Adriani (2011) reportan un incremento en la eficiencia de utilización del nitrógeno. Sin embargo, éste es un parámetro que tiene el inconveniente de suponer que la ganancia de peso se debe exclusivamente al aporte proteínico del alimento, además de no tomar en cuenta el aporte necesario para el mantenimiento (Shimada, 2009).

Además del bajo porcentaje de clinoptilolita en el suplemento comercial utilizado en este estudio, otra causa que puede explicar las diferencias en la utilización del N del presente trabajo con investigaciones anteriores, puede ser que algunas de éstas últimas (Forouzani et al., 2004; Siti y Adriani, 2011) utilizaron urea en la dieta, la cual se hidroliza en rumen hasta cuatro veces más rápido que la velocidad de síntesis de la proteína microbiana, por lo cual la zeolita pudo captar el amonio así formado en exceso para posteriormente liberarlo de forma gradual, aprovechando así más eficientemente el NNP de la dieta.

Discusión general e implicaciones

A pesar de haberse empleado una clinoptilolita evidentemente cálcica la cual ha mostrado mejorar algunos parámetros ruminales así como aumentar la población bacteriana celulolítica (Goodarzi y Nenekarani, 2012), es probable que otras características del mineral como la pureza o el tamaño de partícula hayan disminuido su capacidad de intercambio catiónico (CIC) afectando el desempeño del mineral zeolítico. El tamaño de la partícula desempeña un papel importante en el proceso de adsorción y de intercambio catiónico (Tapia et al., 2011), aumentándolos al disminuir la granulometría de la zeolita; por ello

aparte del efecto que pudo tener esto en el consumo, también pudo verse afectado el intercambio catiónico entre el NH_4^+ y los cationes de la zeolita.

Por otra parte Leyva et al. (2004a) encontraron que el NH_4^+ reemplaza preferentemente al Ca, Mg y K, mientras que la sustitución del Na fue mínima, probablemente porque el NH_4^+ no logra acceder a los sitios catiónicos ocupados por el Na. Sin embargo otra investigación (Leyva et al., 2004b) sugiere que el Na^+ podría obstruir los canales de la zeolita, impidiendo que el NH_4^+ acceda a los sitios donde se realiza el intercambio catiónico, disminuyéndose la CIC. Lo cual pudo ocurrir en este experimento tomando en cuenta que el contenido de Na_2O en la zeolita utilizada es mayor que en otras zeolitas (Rivera, 2005; Leyva et al., 2004b).

Por otra parte, es de notar que al reemplazar el ensilado en el mismo nivel en el que se incluyó la zeolita, hubo una reducción de la concentración de algunos nutrimentos (almidones, azúcares), a pesar de lo cual, no se deprimió la digestibilidad de la dieta.

Recomendaciones para investigaciones futuras

Es innegable la variabilidad en los resultados que existen entre los reportes de investigaciones con zeolitas en la alimentación animal, éstas discrepancias se han atribuido en gran medida a las características de las zeolitas empleadas en los experimentos como tipo (natural o sintética), especie, composición mineralógica (pureza) y química, tamaño de partícula, así como proporción de uso (Shariatmadari, 2008). Con base en ello se recomienda el estudio de las interacciones entre los principales factores que pueden modificar la respuesta a la zeolita (ambiente ruminal, características de la zeolita, animal) con un énfasis en la variabilidad del material zeolítico. De tal

manera que se pueda esclarecer el mecanismo de acción por el que actúan las zeolitas.

Lo anterior se puede realizar estudiando el efecto que tienen diferentes especies de zeolita y como afecta su composición química a la digestibilidad de diversos nutrientes incluyendo minerales (Ca y P), haciendo énfasis en los cambios que se producen en el ambiente ruminal y por lo tanto en la síntesis de proteína microbiana. Esto último se puede estimar de manera sencilla mediante la determinación de derivados púricos excretados en orina (como alantoína, su principal metabolito), ya que esta técnica no es invasiva, con lo que se evitan trastornos digestivos que se pueden presentar en animales canulados. De ésta manera se puede determinar si hay alteraciones en el ambiente ruminal, ya que éste incide directamente en la síntesis de proteína microbiana (Posada et al., 2005).

Otro ensayo que se propone consiste en evaluar el efecto de zeolitas con diferente contenido de magnesio y potasio sobre la digestibilidad *in vitro* de dietas altas en fibra, esto debido a que los trabajos de Galindo et al. (1982) y Galindo et al. (1990) citados por Rivera (2005) señalan que el potasio o el magnesio pueden actuar como catalizadores de las enzimas producidas por las bacterias celulolíticas, mientras que zeolitas que intercambian preferentemente sodio, pueden tener efectos adversos sobre la digestibilidad de la fracción fibrosa.

Los resultados con zeolitas sintéticas no son alentadores (Pond, 1984; Elliot y Edwards, 1991), sin embargo, otra alternativa es la experimentación con otros tipos de zeolitas o zeolitas modificadas. Las zeolitas pueden ser tratadas sustituyendo sus iones intercambiables por un solo ion (por ello se les llama homoiónicas), aumentando su CIC y para el amonio, la capacidad de

intercambio de clinoptilolitas modificadas decrece en el siguiente orden: Na-Zeolita > Ca-Zeolita > K-Zeolita > Mg-Zeolita (Leyva et al., 2004b). Esto lo comprueban los buenos resultados obtenidos con zeolitas tratadas con urea y calcio (Vargas et al., 2004).

Las potencialidades de las zeolitas en diversos aspectos dentro de la producción y salud animal, así como su bajo costo y beneficio ecológico justifican futuras investigaciones, siempre y cuando éstas sean llevadas a cabo usando una metodología adecuada.

Conclusiones

La suplementación con clinoptilolita cálcica en la dieta para corderos no logró aumentar su digestibilidad, ni la retención de nitrógeno bajo las condiciones de este experimento. Por lo que no puede recomendarse el uso de este mineral para mejorar la eficiencia en la utilización de una dieta con 30 % concentrado y 70 % forraje para corderos Suffolk en crecimiento.

REFERENCIAS

1. Acosta, A.; Lon-Wo, E. y Dieppa, O. (2005). Efecto de la zeolita natural (Clinoptilolita) y de diferentes esquemas de alimentación en el comportamiento productivo del pollo de ceba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39(3), 319-325.
2. Alcalá-Canto, Y.; Gutierrez-Olvera, L.; Gutierrez-Olvera, C. y Sumano-López, H. (2011). Effects of clinoptilolite on *Eimeria spp.* Infection in sheep. *Small Ruminant Research*, 100(2-3), 184-188.
3. Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official methods of analysis of AOAC international*. 19th ed. Gaythersburg, MD, USA: AOAC INTERNATIONAL.
4. Bartko, P.; Vrzgula, L.; Prosbová, M. y Blazovský, J. (1983). The effect of feeding zeolite (clioptilolite) on the health status of sheep. *Veterinární Medicína*, 28(8), 481-492.
5. Bascuñán, C. y Soca, M. (1997). El ZOAD (zeolitas naturales) en la alimentación animal. Memorias del seminario. Posibilidades de utilización de zeolitas en las industrias nacionales; 1997 marzo 6; Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional, 23-39.
6. Bosch, P. y Schifter, I. (1997). *La zeolita una piedra que hierve*. 2^a ed. México, D. F.: Fondo de Cultura Económica.
7. Brizuela, M. A.; Serrano, P.; Almazán, O.; Rodríguez, J. A.; Camps, D. M.; Bueno, G. et al. (2009). Probióticos y enzimas. Una alternativa natural al empleo de antibióticos. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 43(2), 30-36.

8. Cano-García, M. A. y Arredondo-Velásquez, C. (2004). Zeolitas de Oaxaca: características mineralógicas y morfológicas. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Publicación Técnica No. 1. Oaxaca, Oaxaca.
9. Carrera-Chávez, B. (2008). La ovino cultura en México: ¿alternativa para los productores rurales?. Coordinación de Investigación y Posgrado del Instituto de Avances. México: 207.
10. Castaing, J. (1998). Uso de las arcillas en alimentación animal. XIV curso de especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA. Obtenida el 23 de noviembre de 2013, de <http://www.uco.es/servicios/nirs/fedna/capitulos/98CAPVIII.pdf>
11. Coombs, D.S.; Alberti, A.; Armbruster, T.; Artioli, G.; Colella, C.; Galli, E. et al. (1997). Recommended nomenclature for zeolites minerals: report of the subcommittee on zeolites of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. The Canadian Mineralogist, 35, 1571-1606.
12. Cuéllar-Ordaz, J. A; García-López, E.; De la Cruz, H. A. y Aguilar-Niño, M. (2011). *Manual práctico para la cría ovina*. México: Ediciones Pecuarias de México.
13. Curi, A.; Granda, W. J. V.; Lima, H. M. y Sousa, W. T. (2006). Las zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes mineros. Información Tecnológica, 17(6), 111-118.
14. Elliot, M. A. y Edwards, H. M. Jr. (1991). Comparision of the effects of synthetic and natural zeolite on laying hen and broiler chicken performance. Poultry Science, 70(10), 2115-2130.

15. FMVZ. (n.d.). CEPIPSA, localización. Obtenida el 08 de agosto de 2013, de <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/cepipsa/localizacion.html>
16. Forouzani, R.; Rowghani, E. y Zamiri, M. J. (2004). The effect of zeolite on digestibility and feedlot performance of Mehraban male lambs given a diet containing urea-treated maize silage. *Animal Science*, 78, 179-184.
17. Georgiev, D.; Bogdanov, B.; Angelova, K.; Markovska, I. y Hristov, Y. (2009). Synthetic zeolites-structure, classification, current trends in zeolite synthesis. Review. International science conference. Economics and society development on the base of knowledge 4th - 5th June 2009, Stara Zagora, Bulgaria.
18. Ghaemnia, L.; Bojarpour, M.; Mirzadeh K. H.; Chaji, M. y Eslami, M. (2010). Effects of different levels of zeolite on digestibility and some blood parameters in Arabic lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(4), 779-781.
19. Giraldo, L. M.; Medina, G. E. y Osorio, F. (2005). Utilización del nitrógeno por los rumiantes. En Pabón-Restrepo, M. y Ossa-Londoño, J. (eds). *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca*. Biogénesis Fondo Editorial. Medellín, Colombia.
20. Goodarzi, M. y Nanekarani S. (2012). The effects of calcic and potassic clinoptilolite on ruminal parameters in Lori breed sheep. *APCBEE Procedia*, 4, 140-145.
21. Gutiérrez, O.; Galindo, J.; Oramas, A. y Cairo, J. (2008). Efecto de la suplementación con bentonita y zeolita en la protección de la proteína ruminal. Estudios *in vivo*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(3), 255-258.

22. Katsoulos, P. D.; Roubies, N.; Panousis, N.; Christaki, E.; Karatzanos, P. y Karatzias, H. (2005). Effects of long term feeding dairy cows on a diet supplemented with clinoptilolite on certain hematological parameters. *Veterinární Medicína*, 50(10), 427-431.
23. Katsoulos, P. D.; Panousis, N.; Roubies, N.; Christaki, E.; Arsenos, G.; Karatzias, H. (2006). Effects of long-term feeding of a diet supplement with clinoptilolite to dairy cows on the incidence of ketosis, milk yield and liver function. *Veterinary Record*, 159, 415-418.
24. Leyva-Ramos, R.; Aguilar-Armenta, G.; González-Gutiérrez, L. V.; Guerrero-Coronado, R. M. y Mendoza-Barron, J. (2004a). Ammonia exchange on clinoptilolite from mineral deposits located in Mexico. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79, 651-657.
25. Leyva-Ramos, R.; Berber-Mendoza, M. S.; Mendoza-Barrón, J. y Aragón-Piña. (2004b). Intercambio iónico de Pb en solución acuosa sobre clinoptilolita modificada por intercambio catiónico. *Revista de la Sociedad Química Mexicana*, 48, 130-136.
26. Maigua-Uvidia, W. E. (2007). Efecto de la zeolita natural en la contaminación ambiental con nitrógeno en la categoría de cerdas gestantes. Tesis de licenciatura. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Técnica de Chimborazo.
27. Mc Collum, F. T. y Galyean, M. L. (1983). Effects of clinoptilolite on rumen fermentation, digestion and feedlot performance in beef steers fed high concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 56(3), 517-524.
28. Mejía-Haro, J. y Mejía-Haro, I. (2007). Nutrición proteica de bovinos productores de carne en pastoreo. *Acta Universitaria*, 17(2), 45-54.

29. Meléndez-Vera, M. Evaluación de tres niveles de zeolita como promotor natural de crecimiento en dietas en las fases de inicio y acabado de cerdos confinados (tesis de grado). Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005.
30. Méndez-Argüello, B.; López-Trujillo, R.; García-Elizondo, R.; García-Martínez, E. y Ruiz-Zarate, F. (2011). Utilización de zeolita en la alimentación de cerdos para abasto. *Revista Agraria-Nueva Época*, 8(3), 25-30.
31. Mumpton, F. A. (1985). Using zeolites in agriculture. En: *Innovative biological technologies for lesser developed countries- workshop proceedings*. Washington, DC: U.S. Congress, Office Technology Assessment, 125-158.
32. Mumpton, F. A. (1999). La roca mágica: uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 96, 3463-3470.
33. Mumpton, F. A. y Fishman, P. H. (1977). The application of natural zeolite in animal science and acuaculture. *Journal of Animal Science*, 45, 1188-1203.
34. National Research Council. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids*. Washington DC: The National Academies Press.
35. Norouzian, M. A.; Valizadeh, R.; Khadem, A. A.; Afzalzadeh, A. y Nabipour, A. (2010). The effects of feeding clinoptilolite on hematology, performance, and health of newborn lambs. *Biological Trace Element Research*, 137, 168-176.

36. Onagi, T. (1966). Treating experiments of chicken droppings with zeolitic tuff powder. 2. Experimental use of zeolite-tuffs as dietary supplements for chickens. Report Yamagata Stock Raising Institute, 7-18.
37. Ostrooumov, M. (2002). Zeolitas de México: diversidad mineralógica y aplicaciones. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Obtenida el 23 de noviembre de 2013, de <http://www.mineralog.net/wp-content/uploads/2011/09/ZeolitasMexico.pdf>
38. Papaioannou, D.; Katsoulos, P. D.; Panousis, N. y Karatzias, H. (2005). The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: A review. *Microporous and Mesoporous Materials*, 84, 161-170.
39. Pond, W. G. (1984). Response of growing lambs to clinoptilolite or zeolite NaA added to corn, corn-fish meal and corn-soybean meal diets. *Journal of Animal Science*, 59, 1320-1328.
40. Posada, S. L.; Giraldo, L. A. y Bolívar, D. M. (2005). Estimación de la síntesis de proteína microbiana a partir de la excreción urinaria de derivados púricos. *Livestock Research for Rural Development*, 17(6). Obtenido el 3 de febrero de 2014, de <http://www.lrrd.org/lrrd17/6/posa17063.htm>
41. Restrepo, B. J. E. y Suárez, A. M. C. (2005). Principales factores que afectan la actividad celulolítica bacteriana en rumiantes. En Pabón-Restrepo M. y Ossa-Londoño J. (eds). *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca*. Biogénesis Fondo editorial. Medellín, Colombia.
42. Rivera-Miranda, M. T. (2005). La zeolita en la alimentación de ovinos: parámetros ruminales y producción de gas *in vitro*. Tesis de maestría. Chihuahua (Chihuahua), México, Universidad Autónoma de Chihuahua.

43. Rodríguez-Garza, F. y Llamas-Lamas, G. Digestibilidad, balance de nutrimentos, y patrones de fermentación ruminal. (1990). En: Castellanos, R. A; Lamas-Lamas, G. y Shimada, A. S. *Manual de técnicas de investigación en rumiología*. México: Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México.
44. Ruíz, O.; Castillo, Y.; Elías, A. y Arzola, C. (2008). Rodríguez C, Salinas J, La O O, Holguín C. Efecto de cuatro niveles de zeolita en la digestibilidad y consumo de nutrientes en ovinos alimentados con heno de alfalfa y concentrado. Nota técnica. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(4), 367-370.
45. Sadeghi, A. A. y Shawrang, P. (2006). The effect of natural zeolite on nutrient digestibility, carcass traits and performance of Holstein steers given a diet containing urea. *Animal Science*, 82, 163-167.
46. SAS. (1999). *User's Guide: Statistics Version 9*, 6th ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
47. Shariatmadari, F. (2008). The application of zeolite in poultry production. *World's Poultry Science Journal*, 64, 76-84.
48. Sherwood, D. M.; Erickson, G. E. y Klopfenstein, T. J. (2005). Effect of clinoptilolite zeolite on cattle performance and nitrogen volatilization loss. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 177(1), 76-77.
49. Shimada-Miyasaca, A. (2009). *Nutrición animal*. 2ª ed. México: Trillas.
50. Siti-Mainah, H. y Adriani, L. (2011). Change of blood ammonia level and efficiency of nitrogen utilization in Priangan lambs due to clinoptilolite addition in ration. *Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară Iași*, 56(16), 74-77.

51. Stojković, J.; Adamović, M.; Lemić, J. y Jašović, B. (2005). The effect of natural zeolite on fattening lambs production results. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 21(5-6), 49-52.
52. Stojković, J.; Ilić, Z.; Ćirić, S.; Ristanović, B.; Petrović, M. P.; Caro-Petrović, V. y Kurčubić, V. (2012). Efficiency of zeolite basis preparation in fattening lambs diet. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 28(3), 545-552.
53. Sumano-López, H.; Hernández-Zaubós, P.; Ocampo-Camberos, L. y Caballero-Chacón, S. C. (1996). Aspectos farmacológicos del uso de los promotores del crecimiento en bovinos. En Sumano-López, H. *Farmacología clínica en bovinos*. México: Trillas.
54. Tapia, P.; Pavez, O.; Santander, M.; Aguilar, C. y Miranda, H. (2011). Utilización de una zeolita natural en la sorción de iones cobre. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 25, 62-69.
55. Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. y Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.
56. Vargas, E. L.; Barahona, A. C. R.; Hernández, E. M. A.; Silvia, A. F. y Ramírez, B. E. (2004). Uso de zeolitas naturales (clinoptilolitas) previamente tratadas para mejorar la digestibilidad de nutrientes y la producción en ovinos. IX Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, III Congreso Internacional; 2004 mayo 12-14; Huatulco (Oaxaca) México: Academia Nacional de Ciencias Ambientales, A. C.
57. Vizcaino-Ramón, B. E. (1998). Identificación y caracterización de la zeolita natural tipo clinoptilolita. Tesis de maestría. Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León.

58. Yazdani, A. R.; Hajilari, D. y Ghorbani, M. H. (2009). Effect of clinoptilolite zeolite on feedlot performance and carcass characteristic in Holstein steers. *Indian Journal of Animal Research*, 43(4), 300-303.