

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas

Instituto de Investigación de Ciencias Veterinarias



**“EFECTO DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE
CLINOPTILOLITA (ZEOLITA) EN LA DIGESTIÓN Y UTILIZACIÓN
DE NUTRIENTES, COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN RUMIANTES
CONSUMIENDO DIETAS DE FINALIZACIÓN”**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

M.C. JESÚS DAVID URÍAS ESTRADA

DIRECTOR

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

CO-DIRECTOR

DR. ALFREDO ESTRADA ANGULO

ASESORES

DR. ALBERTO BARRERAS SERRANO

DRA. MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ SOTO

DR. JOSÉ ÁNGEL OLIVAS VALDEZ

MEXICALI, B. C., MÉXICO

ENERO DE 2017

La presente tesis **“Efecto de la adición de diferentes niveles de clinoptilolita (zeolita) en la digestión y utilización de nutrientes, comportamiento productivo y características de la canal en rumiantes consumiendo dietas de finalización”** realizada por el **C. Jesús David Urías Estrada**, dirigido por el **Dr. Alejandro Plascencia Jorquera**, ha sido aprobada por el comité particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Comité Particular

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Director de Tesis

Dr. Alfredo Estrada Angulo
Co-Director

Dr. Alberto Barreras Serrano
Sinodal

Dra. María Alejandra López Soto
Sinodal

Dr. José Ángel Olivas Valdez
Sinodal

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
HIPÓTESIS	VII
OBJETIVO	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Generalidades	4
Origen y tipos de zeolitas	6
Distribución mundial y nacional	8
Zeolitas en el mundo	8
Zeolitas en México	8
Propiedades y características de las zeolitas	10
Características físicas y químicas	12
Propiedades de absorción	15
Propiedades de intercambio de iones	16
Uso de zeolita en la actividad agropecuaria	17
<i>Efecto del uso de zeolitas como aditivo en la alimentación animal</i>	19
Monogástricos	19
Aves	19
Cerdos	25
Rumiantes	30
Rumiantes para producción de leche	31
Rumiantes para producción de carne	37
CONCLUSIONES	44
BIBLIOGRAFÍA CITADA	45
EXPERIMENTO 1	56
EXPERIMENTO 2	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Propiedades de las zeolitas.....	11
2	Comportamiento productivo de pollos de engorda al adicionar zeolita a la dieta.....	21
3	Efecto de la adición de zeolita en dietas de miel fina	22
4	Comportamiento productivo de gallinas ponedoras durante un periodo de 336 días.....	23
5	Composición de las excretas de gallinas ponedoras con el tratamiento de zeolita y la dinámica del amoniaco en el medio ambiente.....	25
6	Comportamiento en cerdos con diferentes aditivos.....	26
7	Balance de nitrógeno y energía en cerdos alimentados con mieles y zeolitas.....	27
8	Efecto de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCA) en crecimiento, finalización y características de canal de cerdos.....	28
9	Características de fermentación ruminal de vacas lecheras alimentadas con diferentes amortiguadores ruminales.....	34
10	Efecto de zeolita en las características de la leche.....	35
11	Efecto de zeolita en la ración de terneras postdestete.....	35
12	Nitrógeno amoniacal en el líquido ruminal determinado a diferentes horas de muestreo y producción de AGVs´ con diferentes niveles de zeolita.....	40
13	Comportamiento productivo y eliminación de N en heces de borregos alimentados con dietas suplementadas con diferentes niveles de clinoptilolita.....	41
14	Efecto de zeolita en el comportamiento productivo de borregos.....	42

Experimento 1 Influence of zeolite (clinoptilolite) supplementation on characteristics of digestion and ruminal fermentation of steers fed a steam-flaked corn-based finishing diet

Table

1	Ingredients and composition of basal diet fed to steers.....	77
2	Influence of zeolite inclusion on digestive function in cannulated Holstein steers.....	78
3	Influence of supplementation level of zeolite on ruminal pH and VFA concentration.....	80

Experimento 2 Impact of dietary inclusion of clinoptilolite on substitution of soybean meal on growth performance, dietary energetics and carcass traits in feedlot ewes fed a corn-based diet

Table

1	Ingredients and composition of experimental diets.....	92
2	Influence of supplementation clinoptilolite level on growth performance and dietary energetics.....	93
3	Treatment effects on carcass characteristics and shoulder tissue composition.....	94
4	Treatment effects on relative visceral organ weight.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Cristales de zeolita (microscopio electrónico).....	7
2	Principales yacimientos de zeolita en México	9
3	Estructura de la zeolita.....	10
4	Unión de tetraedros con los iones intercambiables.....	13
5	Localización de los sitios de unión de una zeolita faujacita..	14
6	Selectividad de los poros de zeolitas a partículas de igual o mayor tamaño.....	15
7	Efecto de los tratamientos con zeolita en la prevalencia de la flora total de intestinos de pollos de engorda.....	20
8	Valores de pH ruminal con 0 y 2% de clinoptilolita obtenidas durante 12 semanas.....	32
9	Proporción molar de acetato en muestras de fluido ruminal obtenidas durante 12 semanas con 0 y 2% de clinoptilolita.	32
10	Variación del contenido de N-NH ₃ ruminal en los animales suplementados T1 (control), T2 100 g bentonita, T3 300 g bentonita, T4 100 g zeolita.....	36

HIPÓTESIS

El uso de zeolitas en dietas con valores más altos que la concentración de proteína cruda requerida para rumiantes en finalización contribuye a mejorar la retención de compuestos nitrogenados y la digestión y dinámica de nutrientes, así como la respuesta productiva, características de la canal y/o la eficiencia energética de la dieta.

OBJETIVO

Evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles de clinoptilolita (zeolita) en la digestión y utilización de los nutrientes, respuesta productiva y características de la canal en rumiantes consumiendo dietas de finalización.

RESUMEN

Como resultado del aumento en el costo de los cereales, en los últimos años se ha incrementado el uso de los granos secos de destilería con solubles (DDGS, co-producto obtenido durante la producción de biodiesel) como ingrediente sustituto del maíz en las dietas de finalización para ganado. Aun cuando los DDGS aportan una cantidad similar de energía que el maíz hojuelado, debido a diferencias en su composición química (mayor cantidad de N, fibra detergente neutro y lípidos y prácticamente ausente de almidón) modifican la fermentación ruminal y la cantidad de N soluble en la dieta. La zeolita es un mineral de origen volcánico que por su configuración molecular y su composición química posee propiedades que retienen el N producido durante la hidrólisis de compuestos nitrogenados y modifica la tasa de pasaje en tracto gastrointestinal. Existe información limitada sobre los efectos del uso de zeolitas en dietas de finalización que contienen DDGS en sustitución parcial del maíz. Por lo anterior, 2 experimentos se realizaron con la finalidad de evaluar el uso de zeolitas (ZEO) sobre aspectos de digestión y fermentación ruminal, sobre la retención de energía y características de la canal de ganado consumiendo dietas de finalización. En el experimento 1 se utilizaron 4 novillos Holstein (328 ± 14 kg) habilitados con cánulas ruminal y duodenal en un diseño de Cuadro Latino 4x4, para evaluar el efecto de la suplementación de ZEO (0, 10, 20 o 30 g/Kg de dieta) en una dieta de finalización a base de maíz hojueleado al vapor sobre las características de fermentación y digestión de nutrientes. La ZEO se adicionó en forma de aderezo con la dieta basal a la hora de la

alimentación. El consumo de materia orgánica (MO), fibra detergente neutra (FDN), almidón y N fue similar para todos los tratamientos. La suplementación de ZEO no afectó la digestión de N o de FDN, pero disminuyó linealmente ($P < 0.01$) el flujo de NH_3 a duodeno, sin efecto sobre el flujo a duodeno de N microbial, N alimenticio o eficiencia microbial. La ZEO incrementó linealmente la digestión de MO ($P = 0.02$) y tendió a incrementar la digestión ruminal de almidón (Lineal, $P = 0.08$). En los tratamientos con ZEO se incrementó la excreción fecal de cenizas (efecto lineal, $P < 0.01$) resultando, una disminución en la digestión de la materia seca del tracto total (efecto lineal, $P = 0.04$). Sin embargo, la digestión de MO en tracto total, se vio incrementada conforme se incrementó la dosis de ZEO. Así, la dilución de la dieta con ZEO no disminuyó la energía digestible de la dieta. No hubo efectos de tratamiento sobre el pH ruminal, pero la concentración total de ácidos grasos volátiles (AGV) tendió ($P = 0.08$) a aumentar a medida que aumentaba la dosis de ZEO. La suplementación con ZEO disminuyó la proporción molar ruminal de acetato y aumentó la proporción molar de propionato (efecto lineal, $P < 0.01$), lo que resultó en una disminución (efecto lineal, $P < 0.01$) de la relación acetato: propionato. En el experimento 2, se utilizaron 40 ovejas (31.725 ± 1.44 kg) en un diseño de bloques completos al azar (bloqueo por peso) para evaluar la suplementación (0, 1, 2 y 3%, en base seca de la dieta) de ZEO en sustitución de la harina de soya en un dieta de finalización a base de maíz, sobre el crecimiento, el balance energético de la dieta y las características de la canal. No hubo efecto de los tratamientos sobre la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo de materia seca (CMS) o la eficiencia alimenticia (GDP/CMS). La EN de la dieta no

se vio afectada por la administración de ZEO, pero debido a la característica inerte de ZEO, la relación de EN dietética observada sobre esperada aumentó linealmente ($P= 0.02$) y la proporción de observado sobre esperado del CMS disminuyó ($P= 0.02$) con la suplementación de ZEO. La ZEO disminuyó linealmente el espesor de la grasa ($P =0.02$) y la grasa visceral ($P =0.02$), sin efectos sobre otras medidas de la canal ($P\geq 0.12$) o sobre el peso de los órganos (como proporción de g/kg de peso corporal vacío). De tal manera que la zeolita puede afectar positivamente la digestión de MO ruminal debido principalmente a la tendencia en el incremento de la digestión de almidón, lo que al final afecta las proporciones molares de AGV (disminución de la relación acetato: propionato), y tener un impacto en la eficiencia de la energía de la dieta como se demuestra en el experimento 2, sin afectar las características de la canal.

Palabras clave: Zeolita, comportamiento, clinoptilolita, digestión, fermentación.

ABSTRACT

As a result of increases of cereals cost, in recent years the use of dried distillers grain with solubles (DDGS, a co-product obtained during the production of biodiesel) as a substitute ingredient of corn has increased in finishing diets for livestock. Even though DDGS contribute a similar amount of energy than steam-flaked corn, due to differences in their chemical composition (higher amounts of N, NDF and lipids and practically absence of starch), the ruminal fermentation and quantities of soluble N in the diet is modified. Zeolite is a mineral of volcanic origin that, due to its molecular configuration and its chemical composition has properties that promote the retention of N produced during the hydrolysis of nitrogen compounds, and modify the rate of passage of solids in the gastrointestinal tract. There is limited information on the effects of the use of zeolites on finishing diets containing DDGS in partial substitution of corn; therefore, 2 experiments were carried out with the purpose of evaluating the use of zeolites on ruminal digestion and fermentation aspects, on energy retention and characteristics of the cattle carcass consuming finishing diets. Experiment 1: Four Holstein steers (328 ± 14 kg) with rumen and duodenal cannulas were used in a 4x4 Latin square design to evaluate the effect of ZEO supplementation (0.10 , 20 or 30 g / kg of diet) in a steam-flaked corn-based finishing diet on the characteristics of ruminal fermentation and nutrient digestion. Zeolite was top-dressed with the basal diet at time of feeding; therefore, intake of organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF), starch and N was equal in all treatments. Zeolite supplementation did not affect site and extent of digestion of N or NDF.

Zeolite linearly decreased ($P < 0.01$) $\text{NH}_3\text{-N}$ flow to duodenum, but did not affect duodenal flow of microbial N, feed N, or microbial efficiency. Inclusion of zeolite linearly increased ($P = 0.02$) ruminal OM digestion and tended (linear, $P = 0.08$) to increase ruminal digestion of starch. Zeolite supplementation increased (linear effect, $P < 0.01$) fecal excretion of ash, resulting in decreased total tract DM digestion (linear effect, $P = 0.04$). However, total tract digestion of OM tended to increase ($P = 0.06$) with increasing zeolite supplementation. Thus, dilution of the diet with zeolite did not depress dietary digestible energy. There were no treatment effects on ruminal pH. Total ruminal VFA concentration tended ($P = 0.08$) to increase as zeolite increased. Zeolite supplementation decreased ruminal molar proportion of acetate and increased molar proportion of propionate (linear effect, $P < 0.01$), resulting in decreased (linear effect, $P < 0.01$) of acetate: propionate ratio. Experiment 2: 40 sheep ($31,725 \pm 1.44$ kg) were used in a randomized block design (block by weight) to evaluate ZEO supplementation (0, 1, 2 and 3%, on dry diet basis) in substitution of soybean meal (SBM) on a finishing corn-based diet on growth performance, dietary energetics, and carcass traits. There was no effect of treatments on daily weight gain (ADG), dry matter intake (DMI) or feed efficiency (ADG/DMI). The dietary NE was not affected by the administration of ZEO, but due to the inertness characteristic of ZEO, the ratio of observed-to-expected dietary NE linearly increased ($P = 0.02$) and the ratio of observed-to-expected DMI linearly decreased ($P = 0.02$) with ZEO supplementation. Clinoptilolite supplementation linearly decreased fat thickness ($P = 0.02$) and visceral fat ($P = 0.03$) with no effects ($P \geq 0.12$) on other carcass measures or the organ tissue weights (as

proportion of g/kg of empty body weight). Thus, the zeolite can positively affect ruminal OM digestion, mainly due to the trend in starch digestion, which affects the molar proportions of VFA (decrease of the acetate: propionate ratio), and to have An impact on the energy efficiency of the diet as demonstrated in experiment 2, without affecting the carcass traits.

Key words: Zeolite, performance, clinoptilolite, digestion, fermentation.

INTRODUCCIÓN

La meta permanente de todo sistema pecuario es aumentar la producción. Para lograr esto, los aditivos han contribuido en gran medida para cumplir con los objetivos de los sistemas productivos; sin embargo, los aditivos como antibióticos, ácidos orgánicos, hormonas, β -adrenérgicos, que son utilizados comúnmente para mejorar el comportamiento productivo de los animales (Castro, 2005), son cuestionados en la actualidad; de tal manera que la investigación en los últimos años se basa en la búsqueda de productos naturales e inocuos que promuevan la producción y que además no cause efectos negativos en la salud animal, en el consumidor y el medio ambiente (Gómez, 2011). Aunado a lo anterior, los cambios permanentes en los sistemas de alimentación, causado por el precio o la disponibilidad de los productos, traen consigo modificaciones en las dietas y por consiguiente en los nutrientes de las mismas. Estos cambios pueden producir un excedente de los nutrientes como la PC en el caso de la práctica común de sustituir, kg por kg, maíz por DDGS. El aumento sustancial de proteína cruda de la dieta, incrementa la producción de N-amoniaco en rumen más allá del que puede ser aprovechado por las bacterias ruminales, con la consecuente pérdida del mismo a través de la vía urinaria o fecal, lo que representa un desperdicio energético y contaminación al medio ambiente, debido a la eliminación de compuestos nitrogenados. Lo anterior puede atenuarse mediante la disminución de la tasa

de degradación de los compuestos nitrogenados en el rumen o bien incrementando la retención de NH_3 una vez que ha sido formado en rumen.

Esta última propiedad la posee el mineral de zeolita (clinoptilolita), la cual ha impactado positivamente en la utilización de los compuestos nitrogenados del alimento sin aparente efecto nocivo en el animal o en el producto final.

Se ha informado que en pruebas *in vitro* e *in vivo* la zeolita puede capturar hasta el 15% de los iones de amonio presentes en un inóculo de contenido ruminal y posteriormente liberarlo lentamente (McCollum y Galyean, 1983). Yazdani *et al.* (2009) y Urías *et al.* (2011), concuerdan que con la adición de zeolita se mejora la ganancia diaria de peso ($P>0.05$) y algunas de las características de la canal, como canal caliente y fría, pero sin efectos significativos en el porcentaje de cortes magros o grado de calidad. De manera contraria en el estudio de Ruiz *et al.* (2008), no observaron diferencias ($P>0.05$) en el comportamiento productivo de los animales ni en la digestibilidad y fermentación ruminal, pero si en el consumo de FDA digestible. Por otra parte Gutiérrez *et al.* (2008), mencionan que la zeolita no disminuye la proteólisis en rumen pero mantiene un nivel alto de amoniaco en todos los horarios posparto, sin embargo, en otro estudio se encontró que la zeolita disminuye los niveles de amoniaco dado que este efecto puede resultar de la capacidad de la zeolita por retener moléculas de amoniaco provenientes de la desaminación de los ingredientes proteicos (McCollum y Galyean, 1983).

Considerando que no existen datos precisos acerca de la utilización de la zeolita en dietas de finalización para rumiantes, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles de clinoptilolita (zeolita) en la digestión y utilización de los nutrientes, en el comportamiento productivo y características de la canal en rumiantes consumiendo dietas de finalización que contienen DDGS.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades

El crecimiento de la población humana trae consigo un aumento en la demanda de alimentos de origen animal, por ello existen constantes esfuerzos de investigadores y productores por incrementar la eficiencia en el crecimiento de los animales al menor costo posible. Esto ha ocasionado que los animales se mantengan en producción bajo un sistema intensificado, en donde los animales en la fase de engorda, permanecen bajo confinamiento en corral hasta su sacrificio (Buxadé, 1996). Esto puede causar un desequilibrio metabólico debido a las altas concentraciones de grano en las dietas, a la presencia de microorganismos patógenos que puede comprometer la salud y el comportamiento productivo de los animales (Depenbush *et al.*, 2009). Para contrarrestar dichos efectos durante años se han utilizado aditivos. Los aditivos son sustancias que mejoran la eficiencia alimenticia, promueven la tasa de crecimiento de los animales y previenen enfermedades. Sin embargo, no son indispensables ya que no aportan ningún nutriente a la dieta y por lo tanto, no forman parte esencial del organismo; estos se utilizan como aderezo o en sustitución parcial de los ingrediente de las dietas ya conocidos, para mejorar o preservar la calidad original de los ingredientes, evitando su deterioro y previniendo así las posibles enfermedades en los animales (Maynard *et al.*, 1979). Durante años se han estado utilizando los antibióticos, ácidos orgánicos, compuestos fitogénicos, hormonas, β -adrenérgicos como aditivos, pero en la actualidad son cuestionados por el posible daño que causan en la salud animal

o la posible resistencia que se pudiera generar por parte de los microorganismos patógenos.

Paralelamente, se le ha prestado gran atención, al efecto de los sistemas de producción extensivo e intensivo en el ambiente y a la generación de productos seguros para el consumidor.

Por lo tanto, las soluciones que se visualizan actualmente en cuanto al empleo de aditivos en la producción de animales no-rumiantes y rumiantes, van dirigidas fundamentalmente a la sustitución de los aditivos de origen antibiótico, por compuestos naturales e inocuos que mejoren la digestión de nutrimentos de la dieta con la consecuente reducción de la excreción, o producción de compuestos contaminantes al medio ambiente (N_2O , CH_4 , P, CO_2 , etc.) y así contribuir con la disminución en el deterioro ambiental; estos aspectos cobran cada vez mayor relevancia (Gómez, 2011).

Una posible solución es la utilización de minerales, ya que son compuestos naturales que se han utilizado durante años en la industria agropecuaria. Un claro ejemplo de lo anterior es el uso de minerales que sirven como modificadores de suelo y como suplementos en las dietas de animales (Chica-Toro *et al.*, 2006).

En la producción animal se han utilizado algunos constituyentes minerales desde hace varias décadas con la finalidad de aumentar la producción, un ejemplo, es la adición de la piedra caliza en la alimentación de gallinas con la finalidad de fortalecer el cascarón del huevo, de igual manera el

uso de arcillas como agentes de enlace en el peletizado de alimentos para animales (Mumpton y Fishman, 1977).

Un grupo de minerales ha despertado el interés de los investigadores, estos prometen contribuir en muchas áreas de la tecnología en la agricultura y ciencias acuícolas en las siguientes décadas. Este grupo son las zeolitas, que mediante investigaciones se han desarrollado esfuerzos que van dirigidos a la posible utilización en la ciencia animal.

Origen y tipos de zeolitas

Las zeolitas se descubrieron en 1756, por el mineralogista sueco Axel Fredrick Cronstedt, quien encontró este complejo mineral formando cristales en las cavidades de la roca basal (Mumpton y Fishman, 1977). Cronstedt descubrió el mineral estilbita, y observó que tenía algo en particular ya que al aplicar calor mediante un soplete perdía agua, proceso que ahora es conocido como "intumescencia". Él llamó a dicho mineral "zeolita", del griego "zeo", hervir y "*lithos*" piedra, ya que muchas zeolitas parecen hervir cuando se calientan. A partir de este descubrimiento las zeolitas se consideran como uno de los grupos de minerales más abundantes sobre la tierra (Olguín, 2005).

Hasta hace poco tiempo, las zeolitas eran consideradas como minerales "anecdóticos", cuya ubicación se limitaba a cavidades de rocas volcánicas, donde formaban cristales espectaculares y apreciados por los coleccionistas de

minerales; sin embargo, son muy abundantes en variados geosistemas (Costafreda, 2014).

Las zeolitas son minerales de origen volcánico que comprenden un grupo de más de 40 tipos (Figura 1) , entre las cuales las más importantes por la abundancia, la dimensión de sus depósitos y la diversidad de aplicaciones a escala mundial, son la clinoptilolita y la mordenita (Castro y Lon-wo, 1991). Pero se puede encontrar zeolitas tales como: Analcima, Amicita, Analcita, Aghanita, Bikitaita, Barretita, Brewsterita, Chabazita, Clinoptilolita, Cancrinita, Deschiardita, Erionita, Epistilbita, Edingtonita, Faujacita, Ferrierita, Filipsita, Gmelinita, Garronita, Gismondita, Gonnandita, Heulandita, Harmotoma, Laumontita, Linde A, Linde N, Linde X, Leucita, Losod, Li- Abw, Liolita, Levynita, Mordenita, Merlionita, Mazzita, Mesolita, Na-P, Natrolita, Ofrerita, Paulingita, Rho, Sodalita, Stilbita, Stellerita, Scolecita, Yugawarita, ZSM-11, ZSM-5 y ZK5 (Olguín, 2005; Mumpton y Fishman, 1977; Costafreda, 2014).

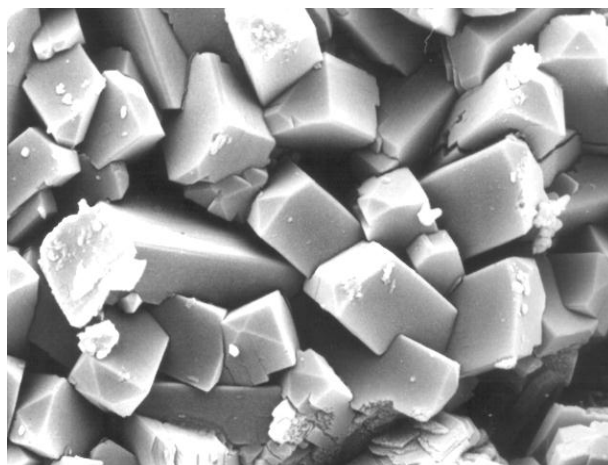


Figura 1. Cristales de zeolita (microscopio electrónico)

Distribución mundial y nacional

Zeolitas en el mundo

Los principales países con potencial para la minería de zeolitas son Japón, Italia, Rusia, Alemania, Bulgaria, Hungría, Francia, Estados Unidos y Sudáfrica (Ostroumov, 2002).

En Puerto Rico se pueden encontrar zeolitas de tipo clinoptilolita, mordenita, analcime y laumontita. Cuba tiene grandes depósitos de clinoptilolita y mordenita. En otros países del Caribe en donde se ha encontrado zeolitas son en Guatemala (clinoptilolita), Panamá (clinoptilolita) y Antigua (mordenita y clinoptilolita). Todas las zeolitas en los países del Caribe ocurren en rocas volcánicas que son de la edad cretácea o más jóvenes (Krushensky *et al.*, 1987).

Zeolitas en México

En 1972 Mumpton informó del primer descubrimiento en México de un depósito de zeolitas sedimentarias (clinoptilolita y mordenita) en el Valle del río Atoyac, a 15 Km del noroeste de la ciudad de Oaxaca, 3 Km al norte del poblado de Etla (Ostroumov, 2002; Olguín, 2005). En 1978 se descubrió uno más en Ixtlán de los Herodes (Figura 2), y en 1987 se reportaron dos yacimientos en Sonora, en el municipio del Rayón y en Agua Prieta (Bosch y Schifter, 1997).

A partir de este descubrimiento se conoce que existe una gran cantidad de yacimientos de zeolitas naturales en México. Estos depósitos están

constituidos básicamente de zeolitas del tipo mordenita, erionita y clinoptilolita, esta última en mayor cantidad (Hernández *et al.*, 2005).

Los depósitos de zeolitas más estudiados y posiblemente de mayor importancia en México son los de Oaxaca y Sonora. Los datos reportados sugieren el siguiente potencial (ton): Oaxaca, Municipio Laollaga, 15´120,000 (Clinoptilolita, Mordenita), Sonora, El Cajón, 10´000,000 (Clinoptilolita), Sonora, Agua Prieta, 3´000,000 (Erionita), San Luis Potosí (El Chap Ben, 2´708,000, Clinoptilolita). Existen otros depósitos en los estados de Guanajuato, Puebla y posiblemente también en Tlaxcala, Veracruz, Guerrero, Michoacán (Ostroumov, 2002), Baja California, Zacatecas, Chihuahua y Tamaulipas (Hernández *et al.*, 2005; Ostroumov *et al.*, 2003).

Con estos datos se afirma que México tiene capacidad para la obtención del mineral denominado zeolita, y de esta manera utilizarlo en las distintas ramas de la agricultura, acuacultura y ganadería.

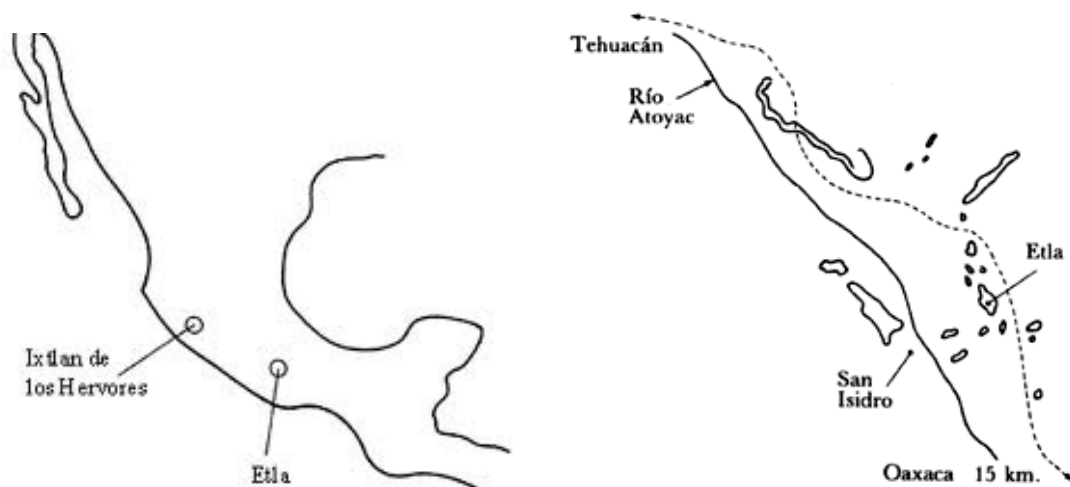


Figura 2. Principales yacimientos de zeolita en México (Bosch y Schifter, 1997)

Propiedades y características de las zeolitas

Las zeolitas son cristales de aluminosilicato, hidratados con cationes alcalinos, que presentan infinidad de estructuras tridimensionales de tetraedros de SiO_4 y AlO_4 , junto con pequeñas cantidades de otros elementos que van a permitir neutralizar la carga negativa de la estructura (Mumpton, 1984; López *et al.*, 2010; Mallek *et al.*, 2012). Estas moléculas pueden ser de origen natural o sintético (Jacas *et al.*, 2012); independientemente de eso, su organización tridimensional le permite crear interconexiones de los canales y huecos (Figura 3) capaces de atrapar las moléculas de dimensiones análogas a la de un tamiz (Islam *et al.*, 2014).

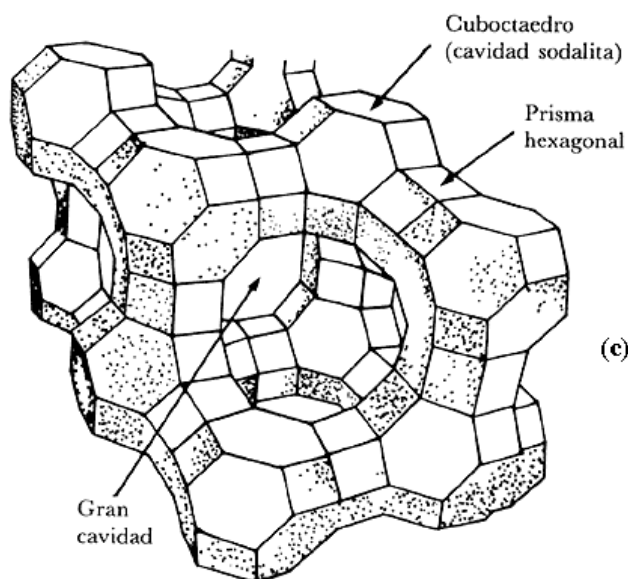


Figura 3. Estructura de la zeolita (Mumpton y Fishman, 1977).

Lo anterior va a depender del tipo de zeolita y sus características físico-químicas (Cuadro 1) (Shurson *et al.*, 1984). Se caracterizan además, por la

capacidad de atrapar y liberar moléculas de agua de manera reversible e intercambiar cationes constituyentes sin alteraciones importantes en su estructura, por lo tanto se pueden unir y liberar selectivamente moléculas específicas, ya sea por absorción o intercambio iónico (Mumpton y Fishman, 1977; Islam *et al.*, 2014).

Cuadro 1. Propiedades de las zeolitas

PROPIEDAD	VALOR
Diámetro de poro	2 a 12 Å
Diámetro de cavidades	6 a 12 Å
Superficie interna	500-1000 m ² /g
Capacidad de intercambio catiónico	0 a 650 meq/100g
Capacidad de adsorción	<0.35 cm ³ /g
Estabilidad térmica	Desde 200°C hasta más de 1000°C

Las propiedades físicas de una zeolita deben considerarse, primero, por su descripción mineralógica desde el punto de vista de sus propiedades naturales, y segundo, desde el punto de vista de su desempeño físico como un producto para cualquier aplicación específica (Córdova *et al.*, 2014). Las zeolitas presentan muchas aplicaciones donde el tamaño y la forma de los poros son indispensables en la catálisis, intercambio iónico y adsorción (López *et al.*, 2010).

Características físicas y químicas

Las zeolitas pertenecen a la familia de los tectosilicatos, es decir, consiste en marcos tridimensionales de tetraedros de SiO_4 (un ion de silicio con 4 iones de oxígeno) en sus vértices los cuales van a permitir la unión con tetraedros adyacentes (Córdova *et al.*, 2014).

Esta disposición de tetraedros de silicio reduce la relación de Si: O a 2:1 y si cada tetraedro contiene silicio como catión, las estructuras son eléctricamente neutras como en el caso del cuarzo (SiO_2) (Mumpton y Fishman, 1977). Sin embargo, en el caso de la zeolita, algunos de los iones de silicio son sustituidos por aluminio, lo cual genera una diferencia de cargas positivas debido a que el silicio es un ion tetravalente y el aluminio es trivalente. Esta carga se equilibra por la presencia de cationes mono-divalentes como K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} (Urbina *et al.*, 2006). La cantidad necesaria de estos iones para mantener la electroneutralidad de la estructura, será mayor cuanto mayor sea el grado de sustitución isomórfica de silicio por aluminio en la red cristalina (Jacas *et al.*, 2012).

Por lo tanto la estructura de la zeolita va a consistir en una armazón de tetraedros de $[\text{SiO}_4]^{4-}$ y $[\text{AlO}_4]^{5-}$ conectados el uno con el otro en las esquinas por medio de átomos de oxígeno como se muestra en la Figura 4 (Bosh y Schifter, 1997; Montalvo, 2012).

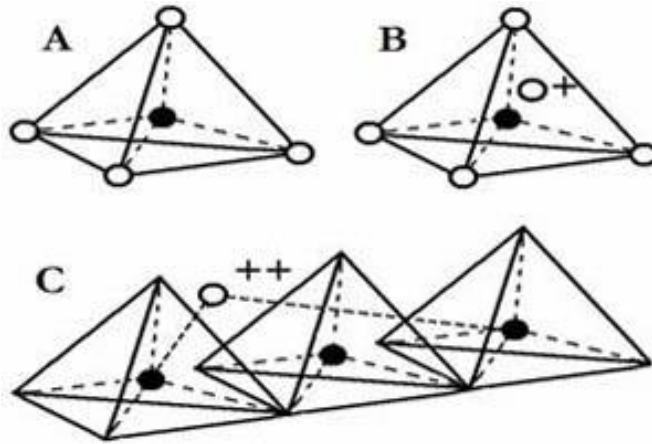


Figura 4. Unión de tetraedros con los iones intercambiables. A) Tetraedro con un átomo de Si (círculo lleno) en el centro y átomos de oxígeno en los vértices; B) Tetraedro con átomo de Al sustituyendo el Si y unido a un catión monovalente para compensar la diferencia de carga entre el Si y el Al; y C) Átomo divalente para balancear las cargas entre el Al y el Si en una cadena múltiple de tetraedros.

Las zeolitas naturales normalmente se encuentran en cierto tipo de rocas sedimentarias (tobas) en forma de pequeños cristales asociados con arcillas y otras fases de similar densidad. Entre las zeolitas naturales más comunes se encuentra la clinoptilolita, debido a su abundancia, bajo costo y disponibilidad. Las zeolitas de este tipo pertenecen a la familia de la heulandita y presentan una estructura similar a ésta, con una relación molar Si/Al = 4 - 5.5, en la que predominan los iones de compensación Na^+ y K^+ cuando se encuentra en forma natural (López *et al.*, 2010).

Su fórmula estructural es $(\text{K}_3 \text{Na}_3) (\text{Al}_6\text{Si}_{30})\text{O}_{72} 24\text{H}_2\text{O}$. El ion dentro del primer paréntesis son los cationes intercambiables. Los del segundo paréntesis son los cationes estructurales que junto con el oxígeno forman las estructuras

tetraédricas. El agua está presente en todas las zeolitas naturales pero están débilmente ligadas (García *et al.*, 1999).

La formación de esta armazón va a permitir la presencia de canales y cavidades de dimensiones moleculares, en las cuales se encuentran los cationes de compensación (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Sr^+ , Ba^+ , Mg^{++}) moléculas de agua u otros absorbatos y sales (Figura 5), unidos a sus tres puntos de unión (Olguín, 2005).

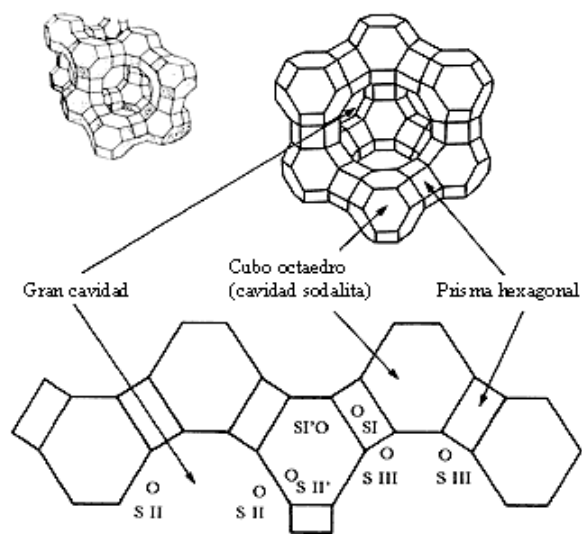


Figura 5. Localización de los sitios de unión de una zeolita faujacita (Bosch y Schifter, 1997).

La microporosidad de estos sólidos es abierta y la estructura permite la transferencia de materia entre el espacio intracrystalino y el medio que lo rodea. Esta transferencia está limitada por el diámetro de los poros de zeolita (Figura 6), por lo que solo podrán ingresar o salir del espacio intracrystalino aquellas moléculas cuyas dimensiones sean inferiores a un cierto valor crítico (tamaño de poro), el cual varía de una zeolita a otra (Costafreda, 2014).

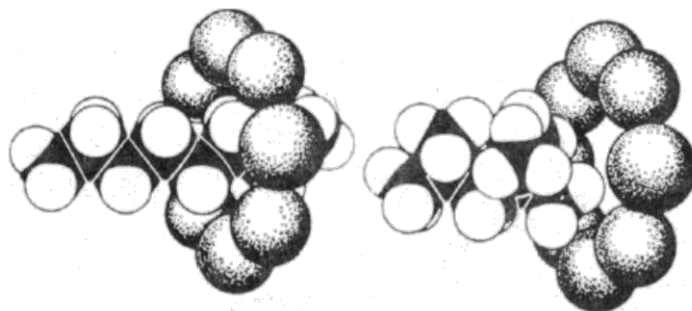


Figura 6. Selectividad de los poros de zeolitas a partículas de igual o mayor tamaño.

Propiedades de absorción

Una de las propiedades más importantes de las zeolitas, es su gran estabilidad térmica y el incremento de la capacidad de adsorción conforme aumenta la temperatura (Bosch y Schifter, 1997). En condiciones normales, las cavidades grandes y canales de entrada de la zeolita están llenas de moléculas de agua, formando esferas hidratadas alrededor de los cationes intercambiables. Esta agua llega a representar de un 10 a un 20% del peso total del material; si el agua es removida, usualmente por calentamiento durante algunas horas hasta los 350°C, se va a desarrollar una estructura porosa de 3 a 10 angstroms lo que va a permitir el intercambio iónico a moléculas que son suficientemente pequeñas para atravesar el diámetro de los canales (Costafreda, 2014). El área de superficie disponible para la adsorción varía en cientos de metros cuadrados por gramo de zeolita; algunas son capaces de adsorber hasta 30% de un gas, basado en el peso seco de la zeolita. La inusual distribución de carga dentro de la cavidad central deshidratada dada por la relación de silicio y aluminio permite que muchas moléculas con permanente

dipolaridad sean adsorbidas con selectividad, a diferencia de casi todos los demás adsorbentes (Mumpton y Fishman, 1977).

Propiedades de intercambio de iones

Los cationes intercambiables de la zeolita están débilmente unidos al marco tetraédrico y pueden ser removidos o intercambiados fácilmente por lavado con una solución fuerte de otro ion, siempre y cuando cuenten con las características de tamaño para que puedan ocupar los sitios de unión de los cationes que serán intercambiados. Como tal, la zeolita es uno de los iones más eficaces en el intercambio iónico conocido por el hombre con capacidades de 3 a 4 meq/g (Olguín, 2005).

La capacidad de intercambio iónico de una zeolita es una medida del monto de equivalentes de los cationes intercambiables que es capaz de retener en su red cristalina, por intercambio iónico en una masa dada de zeolita (Córdova *et al.*, 2014). Esta capacidad se realiza en función de la sustitución del aluminio por silicio en las estructuras tetraédricas; es decir que cuando mayor sea la cantidad de aluminio en una zeolita, mayor será el requerimiento de iones alcalinos para alcanzar la neutralidad de carga (Mumpton y Fishman, 1977).

El comportamiento del intercambio iónico en las zeolitas depende de varios factores que determinan la selectividad, siendo algunos de ellos (Bosch y Schifter, 1997): a) Naturaleza de los cationes intercambiables: tamaño, carga iónica y forma; b) Temperatura; c) Concentración de los cationes en solución; d)

Aniones asociados con los cationes en solución; e) Estructura de la zeolita-topología de la red- y densidad de carga de la red.

Por lo tanto, se sugiere que la capacidad de intercambio de una zeolita debe ser determinada y analizada experimentalmente por la fuerte dependencia que esta propiedad posee a diversos factores antes mencionados (Córdova *et al.*, 2014).

Uso de zeolita en la actividad agropecuaria

Teniendo en cuenta sus propiedades, las zeolitas han sido utilizadas en la industria, la agricultura y en la prevención de la contaminación con fines tales como: adsorbente, separador e intercambiador, para la remoción de amonio en los tratamientos de residuales en líquidos industriales y de aguas potables; en la remoción de Cesio y Estroncio de residuos radioactivos; la remoción de metales pesados de residuos industriales líquidos, para fabricación o extensor de cementos para la construcción y en la curación de cortes y heridas, así como aditivo en la alimentación animal, deodorizante en instalaciones de cría de animales, catalizadores de reacciones bioquímicas y químicas, en cultivos de plantas, entre otros (Montalvo, 2012).

Dentro de los usos que se le ha dado a la zeolita en la rama agropecuaria se puede encontrar la fabricación de fertilizantes mezclados y granulados, así como un substrato natural mineral para plantaciones hortícolas, para incrementar el sistema de enraizamiento, como enmiendas y mejoramiento de las condiciones del suelo en la agricultura y horticultura, eliminación de

amoníaco a partir de los residuos agrícolas, como sustrato en los hidropónicos (zeopónicos), uso como aditivos en las dietas de animales (Mumpton, 1999; Castro y Lon-Wo, 1991).

Su característica de absorber la humedad, permite utilizarla para preservar los granos almacenados y evitar enfermedades ocasionadas por hongos, e incluso, puede capturar las micotoxinas, atrapándolas en su red cristalina, hasta ser eliminadas en las heces. Su aplicación disminuye malos olores, al atrapar sustancias que contienen amoníaco; no proliferan larvas de insectos, debido a la absorción de humedad. También se han utilizado en las camas de ovinos y caprinos ya que ayuda a controlar la presencia de pododermatitis originada por hidratación (Lon- Wo *et al.*, 1993).

Otro uso importante de la zeolita es utilizarla para el tratamiento de aguas residuales, como filtro para la eliminación de algunos de los contaminantes orgánicos y iones de amonio (Jorgensen y Weatherley, 2002).

Las propiedades y aplicaciones de las zeolitas naturales son muy amplias como se mencionó anteriormente, pero la investigación en la actualidad va dirigida a fundamentar de manera concreta su posible uso en la alimentación animal como aditivo seguro, ya que al parecer mejora la utilización de los nutrientes y con aparente efecto terapéutico relacionado con el control de problemas entéricos (Castro y Lon- Wo, 1991).

Con respecto a lo anterior, Lon- Wo *et al.* (1993), demostraron que con la utilización de 5 % de zeolita en las dietas de pollos de engorda, inoculados con

aflatoxinas (84 µg AFB1 + 62 µg AFB2 + 58 µg AFG1/ave/día), mejora el comportamiento productivo de los animales, obteniendo animales más pesados al final de la engorda (1,045 g/ave vs. 462 g/ave) y sin alteraciones significativas en los indicadores metabólicos, hígado o actividades enzimáticas específicas inusuales; lo cual indica que las zeolitas naturales no sólo mejoran el comportamiento productivo y metabólico sin provocar alteraciones morfológicas tumorales o estados de citotoxicidad, sino que además elevan el estado higiénico-sanitario de los alimentos e inhiben los efectos adversos de las micotoxinas presentes en ellos.

Efecto del uso de zeolitas como aditivo en la alimentación animal

Monogástricos

Aves

En pollos de engorda Mallek *et al.* (2012), utilizaron la clinoptilolita en adiciones de 0, 0.5 y 1 % en la dieta, para evaluar su eficiencia en reducir la flora intestinal total en pollos y sus efectos en el rendimiento productivo, producción de Omega-3 y textura de la carne. Se encontró que la adición de zeolita en la dieta reduce significativamente ($P < 0,05$) los niveles de flora total intestinal (Figura 7), además de un efecto positivo sobre el peso final con la adición de 1% comparado con el control (2.24 kg vs 2.44 kg, $P < 0.001$). La clinoptilolita mejoró los parámetros organolépticos como elasticidad y masticabilidad e incrementó el nivel de ácido graso Omega-3 y disminuyó la

cantidad de ácidos grasos saturados (ácido palmítico, ácido mirístico y ácido esteárico, $P < 0,001$).

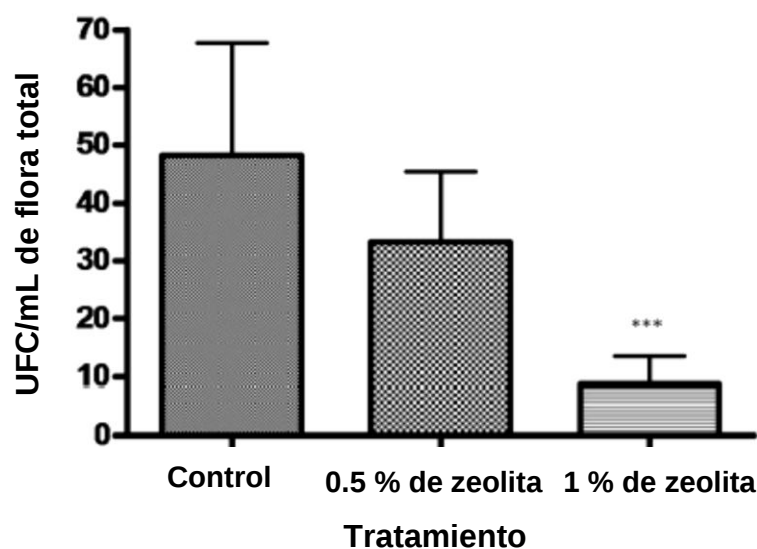


Figura 7. Efecto de los tratamientos con zeolita en la prevalencia de la flora total de intestinos de pollos de engorda.

Lon-Wo *et al.* (1987), adicionaron 0 y 5 % de zeolita a dietas de pollo de engorda con el objetivo de evaluar el comportamiento productivo desde la primera hasta la octava semana de edad. Al inicio de la engorda el comportamiento fue similar entre tratamientos, pero en la etapa de finalización se mejoró en 11 % la conversión alimenticia ($P < 0.05$) con la inclusión de zeolita (Cuadro 2). Esto influyó favorablemente en la etapa global de la engorda. Además se disminuyó el índice de mortalidad en un 40 %, esto probablemente debido a los efectos terapéuticos que posee la zeolita en el tracto gastrointestinal.

Cuadro 2. Comportamiento productivo de pollos de engorda al adicionar zeolita a la dieta.

Medidas	Tratamientos		DE
	Sin zeolita	Con 5 % de zeolita	
7-28 días de edad			
Consumo de alimento, g/ave	1115	1045	34
Ganancia de peso vivo, g/ave	581	541	12
Conversión alimenticia	1.92	1.93	0.03
Mortalidad	0.47	0.43	0.04
28-56 días de edad			
Consumo de alimento, g/ave	2528	2475	61
Ganancia de peso vivo, g/ave	952	1042	36
Conversión alimenticia	2.65	2.38	0.07*
Mortalidad	0.58	0.34	0.06*
7-56 días de edad			
Consumo de alimento, g/ave	3643	3520	71
Ganancia de peso vivo, g/ave	1535	1583	35
Conversión alimenticia	2.37	2.22	0.05
Mortalidad	0.75	0.55	0.06

* Diferencias significativa $P<0.05$.

En otro estudio con pollo de engorda se compararon tres niveles de inclusión: 0, 3, 5 % de zeolitas en dietas con 10 % de miel fina. El peso vivo, la ganancia de peso y el consumo total no difirieron entre tratamientos en ninguna de las etapas analizadas, a pesar de que el nivel de energía metabolizable de las dietas disminuyó en 0.46 y 0.75 MJ durante el inicio y en 0.052 y 0.77 MJ durante la finalización, con 3 y 5% de zeolita respectivamente, esto como consecuencia de la dilución de la energía por la inclusión de la zeolita. Debido a que la zeolita es un elemento que no aporta ningún nutriente específico para la formación de tejidos y que su mecanismo de acción se basa en sus características físicas y químicas, se consideró como consumo real el 97 y 95 % del consumo total en los tratamientos con 3 y 5 % de zeolita. Este análisis

manifestó una reducción significativa ($P<0.05$) del consumo durante la etapa de 28 a 56 días para el tratamiento con 3 % y de la etapa de 14 a 56 días para los tratamientos con zeolita (Cuadro 3), así como una mejor conversión alimenticia cuando la zeolita era adicionada en 3 %, comparado con el control (Pérez *et al.*, 1988).

Cuadro 3. Efecto de la adición de zeolita en dietas de miel fina

Indicadores	% de zeolita			EEM
	0	3	5	
Peso vivo, g/ave				
14 días	209	212	210	4
28 días	528	515	512	10
56 días	1741	1770	1749	25
Consumo total , g/ave				
días				
14-28	602	584	617	17
28-56	3057	3029	3120	34
14-56	3658	3614	3737	36
Consumo sin zeolita, g/ave				
14-28	602	567	586	17
28-56	3057 ^a	2938 ^b	2964 ^{ab}	33
14-56	3658 ^a	3504 ^b	3549 ^b	35
Ganancia de peso, g/ave				
14-28	319	304	302	7
28-56	1213	1255	1237	25
14-56	1532	1558	1539	25
Conversión sin consumo de zeolita				
14-28	1.88	1.87	1.93	0.03
28-56	2.52 ^a	2.34 ^b	2.40 ^{ab}	0.43
14-56	2.39 ^a	2.25 ^b	2.31 ^{ab}	0.03
Conversión con consumo de zeolita				
14-56	2.39	2.32	2.43	0.04

^{ab} Medias dentro de la misma fila con letras diferentes en los superíndices difieren significativamente $P<0.05$.

La suplementación de Zn-ZCP (zeolita sintética que básicamente es zeolita del tipo clinoptilolita adicionada con zinc) en dietas de pollos de engorda demostró tener un efecto positivo en la eficiencia alimenticia en un 9% con dosis de 0.12, 0.24 y 0.48 % comparado con el grupo control (lineal, $P < 0.05$), además de una tendencia en la ganancia diaria de peso de 11% (lineal $P < 0.1$) del día 1 al 21 (Tang *et al.*, 2015).

En gallinas de postura, la utilización de 5% de zeolita en la dieta mejoró la conversión masal en promedio de 8% ($P < 0.05$) cuando en el análisis de los resultados la zeolita se considera en el consumo de alimento, tal como se muestra en el Cuadro 4 (Berrios *et al.*, 1983); sin embargo, la zeolita no aporta ningún nutriente y al analizar la conversión masal restando la cantidad del mineral al consumo de alimento, se observa una mejora de hasta 10 %.

Cuadro 4. Comportamiento productivo de gallinas ponedoras durante un periodo de 336 días.

Medidas	% de zeolita en las dietas				EE
	0	2.5	5	10	
No. De huevos/ave	220	231	233	212	8.0
Consumo de alimento, kg/ave	38.6	39.3	39.3	39.3	3.0
Consumo de alimento/huevo, g	176.5	166.4	160.8	170.6	5.0
Conversión masal (alim. + Zeolita)	2.98 ^{ab}	2.84 ^{bc}	2.74 ^c	3.07 ^a	0.07
Conversión masal (alim. Sin zeolita)	2.98 ^a	2.74 ^b	2.69 ^b	2.79 ^b	0.06

^{abc} Medias con letras diferentes en los superíndices dentro de cada fila difieren significativamente $P < 0.05$.

Además de mejorar el comportamiento productivo de las aves se pueden encontrar otros efectos que favorecen la salud animal y el medio ambiente. Es sabido que en la producción animal se genera una gran cantidad de excretas,

las cuales representan una carga alta de contaminantes ambientales, como el caso del nitrógeno. Para resolver esta situación, se estudian innumerables alternativas, como el uso de las zeolitas naturales. Estos minerales se destacan por su acción como desodorante ambiental; son productos ideales para tratar las heces fecales, debido a su capacidad para capturar el nitrógeno amoniacal y evitar la volatilización del mismo (Castro y Lon-Wo, 1991). Además, con la capacidad de remover hasta el 60 % de la humedad, y absorber más de 60 % de su peso en agua le permite reducir olores evitando así la atracción de moscas e insectos indeseables (Castro, 2005).

Se ha demostrado que con el uso de 3 % de zeolita del tipo clinoptilolita se puede incrementar la retención de nitrógeno total y N-NH_3 en las heces de gallinas ponedoras comparado con un grupo sin zeolita (Cuadro 5). En este estudio, todo indica que no se impide la conversión del ácido úrico en amoníaco, sino que la zeolita lo retiene en su estructura y reduce su volatilización, por lo que indirectamente disminuyen los malos olores y contribuye a la protección ambiental. En la dinámica de muestreo de las deyecciones se evidenció menor volatilización del amoníaco en las excretas de las aves alimentadas con zeolita, ya que en diez días se liberó menor cantidad de NH_3 , prácticamente un 97 % menos que el grupo control. Estos resultados sugieren que es posible manipular la alimentación de la gallina ponedora con la inclusión de zeolitas y contribuir a disminuir la contaminación ambiental y los malos olores (Lon- Wo *et al.*, 2010).

Cuadro 5. Composición de las excretas de gallinas ponedoras con el tratamiento de zeolita y la dinámica del amoniaco en el medio ambiente

Medidas	Zeolita, %		EE
	0	3	
MS,%	25.36 ^a	31.20 ^b	0.24
Nt, mg g ⁻¹	2.91 ^a	5.38 ^b	0.63
N-NH ₃ , mg g ⁻¹	0.69 ^a	1.19 ^b	0.07
N/NH ₃ , %	0.20 ^a	0.29 ^b	0.08
NH ₃ liberado al ambiente, ppm	937 ^a	30.6 ^b	---

^{ab} Medias con letras diferentes en los superíndices dentro de cada fila difieren significativamente $P<0.01$

--- dato no disponible

Cerdos

En la producción porcina se utilizan distintos aditivos para potencializar el crecimiento de los animales. En un estudio con cerdos en la etapa de crecimiento donde se utilizaron algunos promotores de crecimiento comercial en cuba, se comprobó que los animales se comportan de forma similar cuando el mineral de zeolita reemplaza a los promotores. El objetivo de este estudio fue tratar de sustituir los aditivos de origen antibiótico, para mejorar la salud animal y la del consumidor; además, encontrar alternativas que disminuyan los costos de producción (Cuadro 6). Los resultados demostraron que las zeolitas naturales son elementos alternativos importantes a tener en cuenta, ante la disyuntiva planteada por las prohibiciones de uso de los promotores de crecimiento de origen antibiótico, o bien, como alternativa de producción para empresas que se dedican a la exportación de productos animales a otros países, que tienen reglas estrictas sobre el uso de antibióticos en la alimentación animal.

Cuadro 6. Comportamiento en cerdos con diferentes aditivos.

	Control sin aditivo	Nitrovin	Bayonox (olaquinox)	Tylan	Zeolita natural cubana
Peso inicial, kg	5.1 ^a	5.8 ^b	5.5 ^b	5 ^a	5.1 ^a
Peso final, kg	26.2 ^a	33.9 ^b	32.3 ^b	33.5 ^b	32.5 ^b
Conversión	4.07 ^a	2.96 ^b	3.13 ^b	2.98 ^b	3.1 ^b

^{ab} Medias con literales diferentes dentro de cada fila difieren significativamente $P < 0.05$.

Ly *et al.* (1996), en un estudio con cerdos evaluaron la digestión de nutrientes con zeolita proveniente de distintos yacimientos en Cuba. Los tratamientos consistieron en agregar 60 g de zeolita de cada yacimiento por kg de alimento ofrecido. No se produjo efecto de tratamiento en la digestibilidad del N, pero la retención fue superior ($P < 0.10$), hasta un 22 % para los tratamientos con zeolitas (Cuadro 7), de igual manera no hubo efecto sobre la digestibilidad de la energía (promedio 91.8 %), pero la retención de la misma en el organismo de los animales fue superior en un 5.7 % ($P < 0.10$) cuando se utilizó zeolita. El flujo fecal diario de ácidos grasos de cadena corta y NH_3 fue mayor ($P < 0.10$) en los cerdos cuando se adicionó zeolita, efecto que se le atribuye a la capacidad de la zeolita de retener moléculas de amoníaco en el interior de sus cavidades.

Castro e Iglesias, (1989) evaluaron 3 niveles de zeolita (0, 3 y 6%), combinada con dietas tradicionales para cerdos. Se demostró que la adición de 3% de zeolita ($P < 0.05$) mejora la ganancia diaria de peso (609, 722, 686 g/día) y la conversión alimenticia (4.7, 3.8, 3.9 kg).

Cuadro 7. Balance de nitrógeno y energía en cerdos alimentados con mieles y zeolitas

	YACIMIENTOS					
	Control	Tasajeras	San Andrés	La Pita	Piojillo	EE
Nitrógeno						
Consumo (C)	19.36	19.11	19.39	19.90	19.68	1.15
Digestión (D)	15.18	14.23	16.07	15.53	15.7	1.43
Retención ⁺	7.96	8.5	10.11	10.69	9.9	1.93
Digestibilidad						
%	78.4	74.5	82.9	78	79.8	5.3
R:C, % ⁺	41.1	44.5	52.1	53.7	50.3	8.8
R:D, % ⁺	52.4	59.7	62.9	68.8	63.1	10.2
Energía						
Digestión (D)	12.85	12.66	13.12	13.36	13.82	1.23
Retención	11.9	12.06	12.51	12.85	13.36	1.16
Digestibilidad						
%	90.3	91.1	92.1	92.1	93.2	2.5
R:C, % ⁺	83.6	86.8	87.8	88.6	90.1	2.9
R:D, %	92.6 ^a	95.3 ^b	95.5 ^b	96.2 ^b	96.7 ^b	1.4

^{ab} Medias con letras diferentes dentro de cada fila difieren significativamente $P < 0.05$.

⁺ $P < 0.10$.

En algunos estudios como es el caso de Matthews *et al.* (1999), la zeolita (0.5% en la dieta) no ha generado una respuesta positiva (Cuadro 8); una de las causas probables puede ser la dosis baja, puesto que en otros estudios las mejores respuestas han sido a partir de 3 % de inclusión. Otra situación sería que la zeolita por ser un tamiz molecular se ha tratado de modificar para aumentar su tamaño de poro y hacerlas selectivas hacia ciertas moléculas de mayor tamaño. Esto la convierte en una zeolita sintética; por lo tanto, el cambio en su estructura puede alterar las propiedades de la misma para intercambiar iones.

Cuadro 8. Efecto de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCA) en crecimiento, finalización y características de canal de cerdos

Criterio	Tratamientos		EEM
	Control	HSCA	
Crecimiento			
Ganancia de peso kg/día	0.81	0.75	0.04
Consumo diario de alimento, kg/día	2.09	2	0.11
Ganancia: Alimento	0.389	0.377	0.0004
Finalización			
Ganancia de peso kg/día	0.82	0.85	0.02
Consumo diario de alimento, kg/día	3.05	2.95	0.14
Ganancia: alimento	0.27	0.288	0.007
Nitrógeno ureico sérico	8.53	8.51	0.84
Total			
Ganancia de peso kg/día	0.82	0.82	0.02
Consumo diario de alimento, kg/día	2.69	2.56	0.13
Ganancia: Alimento	0.305	0.32	0.008
Características de la canal			
Área del ojo de la costilla, cm ²	29.68	30.66	1.01
Peso de la grasa, kg ^c	1.37	1.26	0.03
Rendimiento de la canal, %	75.32	75.38	0.42
Porcentaje de musculo, %	44.33	46.47	0.74

^c Diferencia significativa ($P < 0.08$).

En la producción animal la calidad del agua puede verse comprometida por las altas concentraciones de sales disueltas, puesto que el agua que se utiliza proviene de pozos o de canales de riego. Las sales disueltas más comunes que contaminan el agua de pozo en toda América del Norte son los sulfatos, como el sulfato de magnesio ($MgSO_4$) y sulfato de sodio (Na_2SO_4). Los investigadores han observado una disminución en el rendimiento del crecimiento en concentraciones $> 2,650$ mg/L, debido a las diarreas que se presentan. Flohr *et al.* (2014), estudiaron los efectos que tienen el sulfato de

sodio en 0 y 3000 mg/L en el agua de bebida en combinación con 0, 0.25, 0.50, 1% de zeolita adicionada en la dieta, para evaluar si la zeolita podía contrarrestar los efectos del sulfato de sodio. Se observó que los cerdos que bebieron agua con sulfato de sodio habían disminuido ($P < 0.01$) la ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y la eficiencia, comparados con los cerdos que beben agua del grupo control. Los cerdos que bebieron agua con sulfato de sodio también presentaron menor ($P < 0.04$) materia seca fecal a partir del día 5 de exposición. Las dietas que contenían la zeolita aumentaron (lineal; $P < 0.05$) la ganancia diaria de peso y la conversión pero no la eficiencia. La zeolita no mejoró los efectos causados por el sulfato de sodio en el agua sobre la materia seca fecal ya que no disminuyó los signos de heces blandas en los animales.

Si bien la zeolita no mejoró la presencia de diarreas con agua contaminada con sulfato de sodio, si ha demostrado disminuir la presencia de diarreas en cerdos destetados, así como la presencia de coliformes fecales β -hemolíticos. Los mecanismos que pueden explicar dichos efectos están relacionados con sus propiedades físicas y química. En primer lugar, las zeolitas pueden atraer células bacterianas con suficiente fuerza física para rasgar la membrana de la célula, lo que resulta en la lisis de las células bacterianas. En segundo lugar, las arcillas pueden adsorber o desintoxicar las toxinas bacterianas. Tercero, las arcillas pueden adherirse a las membranas mucosas gastrointestinales y reforzar la barrera mucosa física, dando lugar a una cierta protección contra las enfermedades entéricas causadas por

bacterias, toxinas, o ambos. En cuarto lugar, las arcillas pueden absorber agua y así influir en la presentación de la diarrea directamente. En quinto lugar, la capacidad de intercambio iónico de las arcillas puede modificar las características del entorno intestinal, tales como el pH o estado de oxidación, que influyen en el crecimiento de bacterias específicas (Song *et al.*, 2012).

Rumiantes

La utilización de las zeolitas en la alimentación de rumiantes parece aumentar la ganancia de peso, al reducir la absorción de amoníaco por las paredes ruminales, producido por la desaminación de proteínas o por la hidrólisis de urea en rumen durante los procesos digestivos, o mediante la reducción de la absorción de productos tóxicos de la degradación microbiana intestinal, como el p-cresol de la degradación de tirosina (Shurson *et al.*, 1984; Câmara *et al.*, 2012). Este complejo mineral tiene distintas capacidades para unirse al amoníaco, dependiendo de la especie de zeolita, pero de manera general, pruebas en vivo e *in vitro*, muestran que las zeolitas son capaces de secuestrar, y posteriormente liberar, hasta 15% de los iones de amoníaco presentes en un inóculo de contenido ruminal (McCollum y Galyean, 1983)

Por lo anterior, Erickson y Klopfenstein (2010) propusieron usar la zeolita como captadores de nitrógeno en el tracto digestivo de rumiantes de tal manera que se aumentara la retención de nitrógeno en el cuerpo del animal para favorecer una mayor deposición de proteína y una menor excreción de contaminantes al medio ambiente.

Rumiantes para producción de leche

Las propiedades que las zeolitas poseen permiten que sean útiles en la nutrición animal. Resultados de las investigaciones en el ganado lechero sugieren que la administración en la dieta a largo plazo de una zeolita natural tiene efectos benéficos sobre su estado de salud y sobre el rendimiento productivo. Una de las principales preocupaciones que surgen de la utilización de clinoptilolita como aditivo para la alimentación del ganado es la estabilidad que tiene con el paso a través del tracto ruminal y tracto intestinal. Si se hidroliza una cantidad considerable de clinoptilolita, el aluminio liberado puede interferir con la utilización de varios minerales tales como el fósforo y por tanto el metabolismo puede ser afectado.

Respecto a lo anterior, la utilización del 2 % de clinoptilolita no tuvo efecto significativo en las concentración ruminal de Al ni en la concentración de Al en suero sanguíneo ($P > 0.05$). Del mismo modo, sucedió para la concentración del fósforo en el medio ruminal y suero sanguíneo ($P > 0.05$). El pH ruminal fue afectado significativamente (Figura 8) por la adición de clinoptilolita ($P < 0.05$). La concentración de AGV totales no fue afectada significativamente ($P > 0.05$); pero, la proporción molar de acetato fue mayor (Figura 9) para 2% clinoptilolita ($P < 0.05$) disminuyendo las proporciones de propionato y valerato.

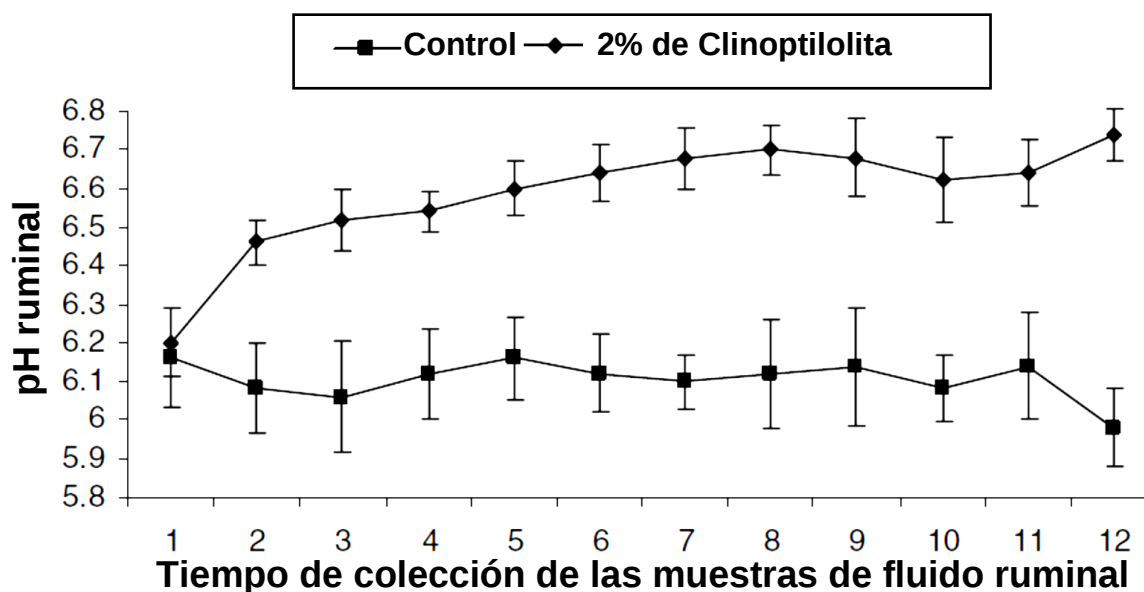


Figura 8. Valores de pH ruminal con 0 y 2% de clinoptilolita obtenidas durante 12 semanas

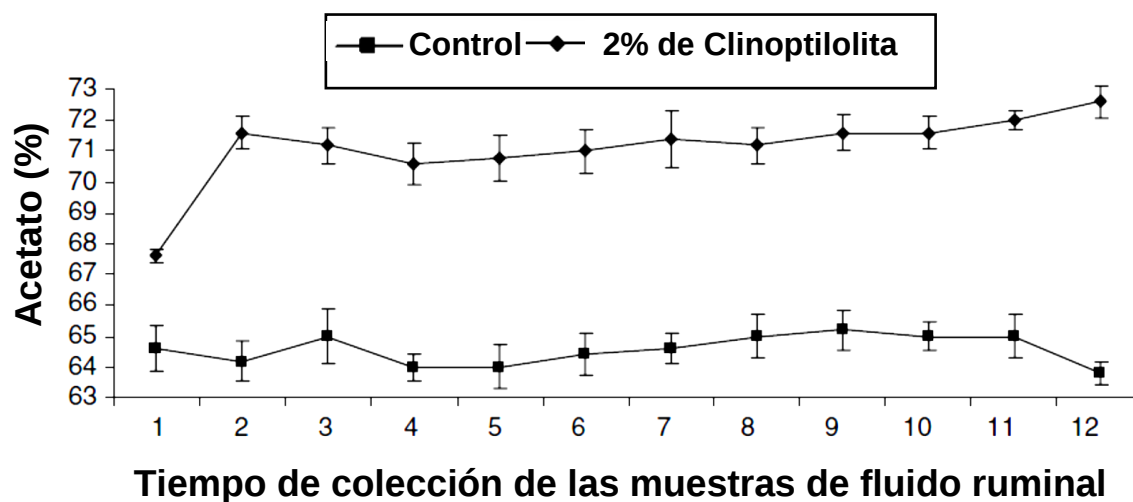


Figura 9. Proporción molar de acetato en muestras de fluido ruminal obtenidas durante 12 semanas con 0 y 2% de clinoptilolita

El aumento del pH ruminal se atribuye a los efectos de amortiguamiento de clinoptilolita cuando se añade a las soluciones acuosas ácidas o básicas. En el primer grupo de recolección de fluido ruminal, la diferencia de los valores de

pH no fue significativa entre los grupos, lo que indica que se requiere más de 5 h de la primera administración de clinoptilolita con el fin de aumentar el pH ruminal. Respecto a la diferencia de las proporciones de los AGV se desconoce el mecanismo exacto por el cual la clinoptilolita podría afectar dichas proporciones. Con los resultados de este estudio se demuestra que la zeolita se mantiene estable en rumen, sin causar alteraciones en los niveles de suero sanguíneo de Al y la biodisponibilidad del P en la dieta. Por otra parte, se comprobó que cuando la clinoptilolita se utiliza como aditivo para dietas en el ganado lechero, aumenta los niveles de pH del rumen y la proporción molar de acetato (Karatzia *et al.*, 2010).

De manera contraria en un estudio donde se evaluó el efecto tampón de la zeolita en comparación con bicarbonato de sodio; sobre la fermentación ruminal y producción de leche, no se encontraron diferencias significativas en el pH ruminal y producción total de ácidos grasos volátiles, solo tiende a aumentar numéricamente el pH ($P= 0.11$) con los tratamientos de bicarbonato y zeolita (Cuadro 9). Tampoco se reportaron diferencias en el consumo de materia seca, producción de leche, y calidad de la misma. Según los resultados la zeolita pueden reemplazar al bicarbonato de sodio como aditivo tampón en la dietas de vacas lecheras, aseveran los autores, pero habría que valorar su eficacia sobre el pH cuando se utilizan dietas con alto contenido de concentrados, debido a que los animales podrían experimentar acidosis subclínica y además de no haber mostrado diferencias contra el grupo control (Dschaak *et al.*, 2010).

Cuadro 9. Características de fermentación ruminal de vacas lecheras alimentadas con diferentes amortiguadores ruminales.

	Tratamientos			EEM	valor- <i>P</i>
	Control	Bicarbonato 1.4%	Zeolita 1.4%		
Consumo kg/día					
MS	26.5	26.4	26.7	1.19	0.98
MO	23.7	23.8	23.9	1.07	0.99
PC	4.72	4.71	4.63	0.204	0.94
Digestibilidad (%)					
MS	72.9	72.5	73.0	0.47	0.72
MO	74.6	74.1	75.0	0.48	0.43
PC	77.2	76.8	76.9	0.46	0.79
Producción de leche	41.5	41	39.6	1.46	0.62
Composición de la leche (%)					
Grasa	3.77	3.94	3.84	0.10	0.48
Proteína verdadera	2.94	2.93	3.09	0.063	0.15
Nitrógeno ureico en leche (kg/dl)	14.7	14.2	13.4	0.48	0.18
Fermentación ruminal					
pH ruminal	6.42	6.54	6.61	0.061	0.11
Total de AGV (mM)	114.4	113.8	103.8	4.44	0.14

A diferencia del estudio antes mencionado, se ha informado que la adición de 2% de zeolita en las dietas de vacas lecheras, permite mejorar la producción (5,164 vs 5,504 litros /lactancia) ($P < 0.01$), esto se explica mediante el análisis de las heces, debido a que con la suplementación de zeolita se disminuyó las pérdidas de cereales en excretas de un 23.4% en dieta control a 12.7% con zeolita, esto va a permitir que haya más cantidad de nutrientes disponibles para incrementar la producción láctea (García *et al.*, 1992) y la calidad de la misma (García *et al.*, 1988), ya que se mejora la cantidad de grasa hasta un 17 % y los sólidos totales en casi un 11 %, ($P < 0.05$). Los resultados

evidencian que la zeolita puede mejorar la eficiencia en las raciones y composición láctea en vacas de alta producción (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de zeolita en las características de la leche

Indicadores	sin zeolita	con zeolita	EE
Producción de leche			
90 días (litros/vaca)	20.6	22	0.0029
244 días (litros/vaca)	12.4	13.1	0.075
Producción total (litros por lactancia)**	5164	5504	
Grasa, kg/día*	0.62	0.73	0.03
Sólidos totales, kg/día*	2.46	2.73	0.04
Cereales en excretas %	23.4	12.7	3.2

** $P < 0.01$.

* $P < 0.05$.

La zeolita natural en la ración de terneras postdestete, con dosis de 3 y 5 % no mostró diferencias significativas en ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia en los primeros 30 días de la prueba (Cuadro 11). Sin embargo, en el segundo período, el tratamiento con zeolita al 3%, tuvo una mayor ganancia de peso ($P < 0.05$) que el resto de los tratamientos, por lo tanto, esto reflejó en los resultados un mayor peso a los 60 días (Pulido y Fehring, 2004).

Cuadro 11. Efecto de zeolita en la ración de terneras postdestete

	Tratamientos		
	Testigo	Zeolita 3%	Zeolita 5%
Edad inicial, días	104	114	107
Consumo de alimento, kg MS/día			
0-30 días	2.41	2.45	2.41
31-60 días	3.22	3.19	3.19
0-60 días	2.82	2.82	2.8
Peso vivo, kg inicial	89.5	89.4	89.4

30 días	97.8	98.3	98.8
60 días	119.1 ^a	123.7 ^b	120 ^a
Ganancia de peso, kg/día			
0-30 días	0.286	0.321	0.306
31-60 días	0.506 ^a	0.644 ^b	0.507 ^a
0-60 días	0.396	0.482	0.406

^{a,b} medias con superíndices distintos en la misma fila difieren significativamente $P<0.05$

La respuesta de la zeolita en dietas de rumiantes, se le atribuyen a la interacción que tiene con el amoniaco ruminal (McCollum y Galyean, 1983). En vacas Holstein x Cebú la adición de 100 g diarios (T 4) de zeolita, incrementó los niveles de amoniaco en el medio ruminal (Figura 10). El mecanismo se explica debido a que zeolita capta los iones NH_3 y mantiene un suministro casi constante a los microorganismos del rumen, por lo que logra satisfacer, en parte, los requerimientos nutricionales de nitrógeno no proteico en el medio ruminal para el crecimiento microbiano. Esto garantiza el incremento de la eficiencia de digestión de la dieta fibrosa, sobre todo cuando se trata de forrajes de mala calidad, aseveran Gutiérrez *et al.* (2008).

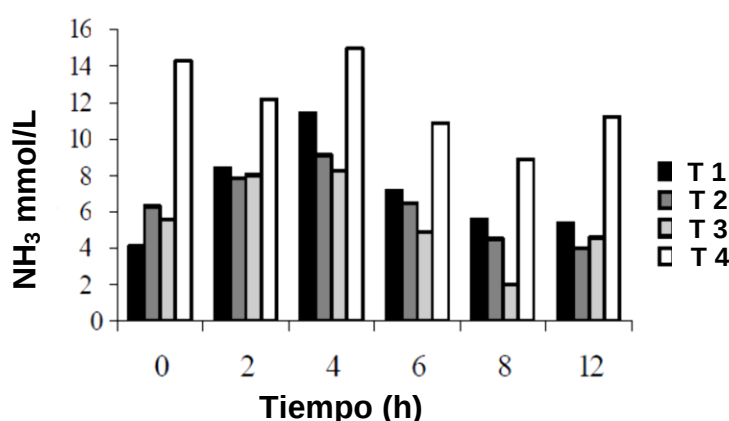


Figura 10. Variación del contenido de N-NH_3 ruminal en los animales suplementados T1 (control), T2 100 g bentonita, T3 300 g bentonita, T4 100 g zeolita

Otra de las preocupaciones que existe respecto a la adición de este mineral a las dietas, es que, por la necesidad de neutralizar su carga utilizando cationes mono o divalentes como el calcio (Flores *et al.*, 2007), pueda interferir en el metabolismo al momento del parto de las vacas lecheras y causar hipocalcemia, o bien, por ser un mineral de intercambio catiónico puede hacer más dinámica la movilización del calcio y evitar de esta manera la presencia de la enfermedad. Respecto a este punto, se demostró que con la adición de zeolita A (zeolita sintética) dos semanas antes del parto se logra un efecto estabilizador sobre el metabolismo del calcio y de esta manera reducir la presencia de la hipocalcemia con dosis de 2 y 4 % en la dieta de vacas con más de tres lactancias. Sin embargo cuando se utilizó el 4 % de adición se disminuyó el consumo de materia seca, lo que probablemente influyó que se presentaran rangos de hipofosfatemia una semana después de la suplementación con zeolita para dicho tratamiento. El consumo posparto de materia seca así como la producción de leche no fue afectada por los tratamientos; por lo tanto, la alimentación preparto de 2% de este tipo de zeolita, resultó ser una dosis adecuada para reducir la frecuencia de hipocalcemia subclínica, sin efectos significativos en el consumo de alimento y la concentración de Pi en el suero (Grabherr *et al.*, 2009).

Rumiantes para producción de carne

En un estudio de digestión, se adicionaron 4 niveles de clinoptilolita, 0, 1.25, 2.5 y 5 % a dietas con 70% se sorgo en de novillos para producción de carne. No se encontraron diferencias significativas en la digestión de tracto total

y digestión ruminal. En la concentración de amoníaco se encontró diferencia cuando se utilizaron los tratamientos 2.5 y 5 % a partir de las 3 horas pospartum, los niveles se mantuvieron inferiores hasta las 9 horas. El pH se encontró más bajo cuando se adicionó el 2.5 % respecto al grupo control (5.55 vs 5.90) sin diferencias significativas entre los niveles de zeolita. No se encontraron diferencias en la producción de AGV total, pero la proporción de propionato se vio aumentada cuando se utilizó el tratamiento de 2.5 %. En conclusión, los autores mencionan que los resultados sugieren que la clinoptilolita puede alterar la fermentación y digestibilidad ruminal en niveles de 2.5 %, a pesar de no encontrar diferencias significativas, ya que puede influir en el amoníaco, pH y la digestión ruminal de los componentes de la dieta. Sin embargo mencionan que debería investigarse más a fondo sobre los niveles de adición de las zeolitas en las dietas para rumiantes (McCollum y Galyean, 1983).

Efectos similares en la digestibilidad de nutrientes fueron encontrados por Ruiz *et al.* (2008), con dosis de 0, 1.5, 3.0, y 4.5 % de zeolitas. Los resultados no mostraron diferencias significativas en consumo de materia seca u orgánica, digestibilidad de la materia seca, digestibilidad de la materia orgánica y digestibilidad de la fibra ácido detergente. Sin embargo, hubo efecto cuadrático significativo ($P = 0.002$) en el consumo de fibra detergente ácido digestible (FDAD) (72.0, 94.4, 98.6 y 87.3 g/animal/d). El efecto presente para los tratamientos 1.5 y 3 %, pudiera explicarse por una mayor selección en los componentes de la FDA presentes en el heno de alfalfa, debido a mejores

condiciones físicas en el ambiente ruminal, las cuales estimulan la motilidad de la pared del rumen. Un consumo bajo de FDAD se presentó para el tratamiento de 4.5 %, el cual puede deberse a que las zeolitas cuando se usan en dosis mayores a 3 % se alteran negativamente las condiciones en el ambiente ruminal. De tal manera que, los resultados confirman que es factible utilizar la zeolita como aditivo en dietas de heno de alfalfa y concentrado para ovinos.

La adición de 4% de clinoptilolita a bovinos, no afectó la producción de AGV's, el pH ruminal, pero si el pH fecal. Los niveles de amonio ruminal fueron superiores numéricamente con la adición de zeolita en las dietas a las 4 horas después de la dosificación del mineral (80 vs 172 ppm) (Galyean y Chabot, 1981), resultados que difieren a los encontrados por McCollum y Galyean (1983). Mumpton y Fishman (1977) informaron que la clinoptilolita tiene una afinidad de intercambio iónico alto con el ion amonio (NH_4) y puede tomarlo cuando se encuentra en niveles altos y luego lo libera gradualmente con el tiempo. Este concepto parece consistente con la tendencia hacia mayores niveles de amoníaco en novillos suplementados con clinoptilolita que en aquellos en los que no se adicionó el mineral.

En caso contrario respecto a los efectos sobre el pH ruminal, Ruiz *et al.* (2007), con el uso de zeolitas en ovinos con dietas a base de alfalfa (70%) y concentrado, no observaron cambios en el pH ruminal y la concentración de N- NH_3 . Es importante considerar el tipo de dieta que se utilizan para desafiar los efectos de zeolita en algunas variables de respuesta, puesto que, la falta de

diferencias significativa en los valores de pH de este estudio se puede atribuir al porcentaje de inclusión de alfalfa en estas dietas. La alfalfa tiene alta capacidad tampón debido al alto contenido de proteína, lo que aporta a su vez, altos niveles de NH_3 en el rumen y de FDN. En los resultados la concentración de ácido propiónico fue mayor para la inclusión de 1.5 %, comparado con el resto de los tratamientos ($P > 0.06$); sin embargo, el ácido acético y butírico no mostraron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Nitrógeno amoniacal en el líquido ruminal determinado a diferentes horas de muestreo y producción de AGVs con diferentes niveles de zeolita

Variable	Niveles de zeolita, %				
	0.0	1.5	3.0	4.5	EE
N- NH_3 del líquido ruminal					
mg/100 mL					
0 h	19.86	21.96	21.73	25.70	1.88
3 h post alimentación	22.90	21.73	18.46	25.23	1.88
6 h post alimentación	16.35	16.82	19.86	21.50	1.88
Ácidos (mmol)					
Acético	42.76	43.26	41.73	41.28	1.68
Propiónico	14.86 ^a	19.67 ^b	14.88 ^a	15.22 ^a	0.98
Butírico	4.87	5.62	5.36	5.28	0.29

^{ab} medias dentro de la hilera con diferentes literales, indican diferencia ($P < 0.06$)

Respecto a la adición de la zeolita sobre el comportamiento productivo, Morales (2011) no observó diferencias significativas en la ganancia diaria de

peso, consumo de alimento y conversión alimenticia, lo que coincide con lo informado por McCollum y Galyean (1983). En ese estudio se observó diferencia en la cantidad de nitrógeno excretado (Cuadro 13). La utilización de 3 o 6 % disminuyó la excreción de N aumentando la retención de N en el interior del animal. Estos efectos permiten un mejor aprovechamiento con la consecuente disminución en el deterioro del medio ambiente como resultado de la disminución en la excreción de compuestos nitrogenados, tema que impacta a las producciones animales actualmente.

Cuadro 13. Comportamiento productivo y eliminación de N en heces de borregos alimentados con dietas suplementadas con diferentes niveles de clinoptilolita

	Clinoptilolita, %			P>F
	0	3	6	
Ganancia diaria de peso (g/día)	250	197	252	.246
Consumo MS (Kg/día)	1.571	1.217	1.527	.127
Conversión alimenticia	6.318	6.151	6.280	.196
Nivel de N en heces %	3.2967 ^a	2.7305 ^b	2.5089 ^b	0.031*

^{a b} Promedios con diferente literal dentro de misma fila son significativos (P<0.05)

Pond (1984), evaluó el efecto de una zeolita natural (clinoptilolita) y una zeolita sintética (zeolita NaA) con niveles de 2% en dietas a base de: A) maíz, B) maíz + harina de pescado, C) maíz + harina de soya (Cuadro 14); No se

observaron diferencias significativas entre tratamientos en el consumo de alimento, ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia.

Cuadro 14. Efecto de zeolita en el comportamiento productivo de borregos

		DIETA							
		Maíz			Maíz + harina de pescado			Maíz + harina de soya	
CRITERIO	0	2% CL	2% ZA	0	2% CL	2% ZA	0	2% CL	2% ZA
Ganancia diaria, g semana 0-10	202	182	214	262	289	222	251	283	212
Consumo diario semana 0-10	1.113	1.123	1.130	1.3	1.274	1.246	1.322	1.407	1.239
Gan:Alim g semana 0-10	182	156	189	199	225	179	189	200	161

Valor de significancia $P < 0.05$

En dietas bajas en grano elaboradas a base de ensilaje de maíz más concentrado en proporciones de 45:55 la zeolita a una dosis de 2.4 % no tuvo efecto sobre la ganancia diaria de peso (1.35 y 1.41 kg), consumo de materia seca diaria (2.53 y 2.59 % PV) y conversión alimenticia (6.03 y 5.93 kg MS) respecto al grupo control. No hubo efecto de tratamiento en los parámetros de canal caliente, área del ojo de la costilla, grasa de riñón y pelvis (Coutinho *et al.*, 2002).

Además de las posibles aplicaciones antes mencionadas, las zeolitas se pueden utilizar como controladores de consumo de suplementos ofrecido a ganado en pastoreo (inclusiones de 69 al 90%) ya que la aceptación o

palatabilidad de zeolita es pobre. Estos hallazgos, son de interés biológico y económico, ya que se puede suministrar permanentemente un suplemento proteico sin estar excediendo los requerimientos del animal (Delgado *et al.*, 1996).

No obstante, independientemente de los distintos efectos de las zeolita sobre la fermentación, digestión o comportamiento productivo, al actuar como una resina de intercambio catiónico, es de suponer que a su salida del tracto gastrointestinal debe estar acompañada de ciertos electrolitos que pudieran ser necesarios para el metabolismo del animal.

Ante esta interrogante, Gutiérrez *et al.* (1999), demostraron que la zeolita suplementada a distintos niveles (0, 1, 3, 5 %) no incrementa la excreción fecal de minerales; por lo tanto los resultados señalan que la inclusión de hasta 5 % de zeolita no interviene de manera negativa en el metabolismo mineral, a pesar de la capacidad de absorción que posee.

CONCLUSIONES

Son poco claros los efectos de las zeolitas en la dieta de rumiantes, pues existe controversia en los resultados obtenidos de los distintos estudios; Las mejores respuestas en rumiantes parecen ser a dosis de 2 y 3 %; sin embargo, se debe considerar el tipo de zeolita y el tipo de dietas, ya que las zeolitas parecen tener mayor efecto con dietas altas en concentrados. De tal manera que es importante seguir estudiando el efecto de este mineral sobre los rumiantes en producción, pues la comprobación de todos los beneficios potenciales según las propiedades de este mineral, a una industria en crecimiento brindaría algunas de las respuestas a la problemática que enfrenta tanto en el sistemas productivo como el daño que causan los desechos agrícolas al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Berrios, I., Castro, M; and Cárdenas, M. 1983. Inclusión de zeolita en los piensos para gallinas ponedoras alimentadas *ad libitum*. Revista Cubana De Ciencia Agrícola 1983, 17:157.
- Bosh, P., and I. Schifter. 1997. La Zeolita una piedra que hierve. Fondo de cultura económica (2da ed.).
- Buxadé C. C. 1996. Bases de Producción Animal. Producción Caprina. Tomo IX. Ediciones Mundi-prensa, Madrid, España.
- Câmara, L. R. A., Valadares, F. S. C., M.I. Leão, M. I., R.F.D. Valadares, R. F. D., Dias, M., Gomide, A. P. C., Barros, A. C. W., Nascimento, V. A., Ferreira D. J., Faé, J. T., C. Carneiro, C. and Cardoso, L. L. 2012. Zeólita na dieta de bovinos de corte. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 64 (3) 631-639.
- Castro, M. 2005. Uso de aditivos en la alimentación de animales monogástricos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 39: 451-458.
- Castro, M. and Iglesias, M. 1989. Efecto de la zeolita en dietas tradicionales para cerdos en ceba. Revista Cubana De Ciencia Agrícola, 23:273.
- Castro, M. and Lon-Wo, E. 1991. Las zeolitas naturales cubanas. Sus aplicaciones en cerdos y aves. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 25:213.

- Chica-Toro, F. J., Londoño, B. L. M. and Álvarez, H. M. I. 2006. La zeolita en la mitigación ambiental. *Revista Lasallista de Investigación*, 3 (1), 30-34.
- Córdova, R. V., Tito-Ferro, D., Rodríguez-Iznaga, I., Acosta-Chávez, R., and Quintana-Puchol, R. 2014. Caracterización de la zeolita natural de Palmarito de Cauto y su valoración como intercambiador iónico. *Minería Y Geología*, 30(4), 1-20.
- Costafreda, M. J. L. 2014. Tectosilicatos con características especiales: Las zeolitas naturales. Fundación Gómez pardo. Disponible en: <http://www.fundaciongomezpardo.es/>.
- Coutinho, F. J. L. V., Henrique, W., Peres, R. M., Justo, C. L., Siqueira, P. A., Coser, P. S. 2002. Efeito da zeolita na engorda de bovinos em confinamento. *Archivo Latinoamericano de Producción Animal* 10(2): 93-96.
- Delgado, A., Molina, A., and León, I. 1996. Zeolita como reguladora del consumo de proteína natural en añojos alimentados con forraje y suplementados con miel-urea. *Revista cubana de Ciencia Agrícola*, 30:265.
- Depenbusch, B. E., Loe, E. R., Quinn, M. J., Corrigan, M. E., Gibson, M. L., Karges, K. K., and Drouillard, J. S. 2008. Corn distillers grains with solubles derived from a traditional or partial fractionation process: Growth performance and carcass characteristics of finishing feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 86:2270-2276.

Dschaak, C. M., Eun, J. S., Young, A. J., Stott, R. D. and Peterson, S. 2010. Effects of Supplementation of Natural Zeolite on Intake, Digestion, Ruminal Fermentation, and Lactational Performance of Dairy Cows. Professional Animal Scientist 26(6):647-654. Disponible en: <http://pas.fass.org/content/26/6/647.abstract>.

Erickson G. and Klopfenstein, T. 2010. Nutritional and management methods to decrease nitrogen losses from beef feedlots. J Anim. Sci. 88:172-180.

Flohr, J. R., Tokach, M. D., Dritz, S. S., DeRouchey, J. M., Goodband, R. D., & Nelssen, J. L. 2014. The effects of sodium sulfate in the water of nursery pigs and the efficacy of nonnutritive feed additives to mitigate those effects. J. Anim. Sci. 92(8), 3624-3635.

Flores, M. A., Galvis, S. A., Hernández, M. T. M., De León, G. F., Payán, Z. F. 2007. Efecto de la adición de zeolita (clinoptilolita y mordenita) en un andosol sobre el ambiente químico edáfico y el crecimiento de avena. Interciencia 32 (10). Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001000010&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

Galyean, M. L. and Chabot, R. C. 1981. Effects of Sodium Bentonite, Buffer Salts, Cement Kiln Dust and Clinoptilolite on Rumen Characteristics of Beef Steers Fed a High Roughage Diet. J. Anim. Sci. 52:1197-1204.

- García, C. M. A., Iglesia, A. and Ordóñez S. 1999. Zeolitas (Clinoptilolita,- Analcime- Filipsita) en depósitos piroclásticos miocenos del borde de la caldera de Tejeda (Gran Canaria, Islas Canarias). Rev. Soc. Geol. España, 12 (2), 229-240.
- García, L. R., A. Elías, J. Pérez de la Paz, and G. González. 1988. Uso de zeolita en vacas lecheras. Efecto en la composición Láctea. Revista Cubana de Ciencia Animal, 22:33.
- García, L. R., A. Elías, and M. A. Menchaca. 1992. Uso de zeolitas en vacas lecheras. Efecto en la producción de leche. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas, 26:133.
- Gómez, R.S. 2011. Estrategias de mitigación y reducción del impacto ambiental de la ganadería. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal –INIFAP. XXXIX Reunión anual Asociación Mexicana de Producción Animal y Seguridad Alimentaria, AMPA. Memoria de congreso.
- Grabherr, H., Spolders, M., Furl, M. and Flachowsky, G. 2009. Effect of several doses of zeolite A on feed intake, energy metabolism and on mineral metabolism in dairy cows around calving. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 93: 221–236.
- Gutiérrez, O., Galindo, J., Oramas, A and Cairo, J. 2008. Efecto de la suplementación con bentonita y zeolita en la protección de la proteína

ruminal. Estudios *in vivo*. Revista. Cubana de Ciencias. Agrícolas, 3: 255-258.

Gutiérrez, O., Castro, L. and Oramas, A. 1999. Efectos de la zeolita en la excreción fecal de nitrógeno y minerales en carneros con dietas de forraje verde y pienso comercial. Revista Cubana De Ciencia Agrícola, 33:291.

Hernández, M. A., Rojas, F., Corona, I., Lara, V. H., Portillo, R., Salgado, M. A. and Petranoskii, V. 2005. Evaluación de la porosidad de zeolitas naturales por medio de curvas diferenciales de adsorción. Revista internacional de contaminación ambiental 21(2). Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/22563>.

Islam, M., Tabasum, A. S., Seong-Gyun, K., Hong-Seok, M., and Chul-Ju, Y. 2014. Dietary effect of artificial zeolite on performance, immunity, faecal microflora concentration and noxious gas emissions in pigs. Italian J. of Anim. Sci., 13(4), 830-835.

Jacas, A., Ortega, P., Velasco, M. J., Cambor, M. A. and Rodríguez, M. A. 2012. Síntesis de zeolita LTA sobre soportes de corindón: Evaluación preliminar para la eliminación de metales pesados de efluentes acuosos. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 51 (5), 249-254.

Jorgensen, T.C. and Weatherley, L. R. 2003. Ammonia removal from waste water by ion exchange in the presence of organic contaminants. Water research 37: 1723-1728.

- Karatzia, M. A., Pourliotis, K., Panagiotis D., Katsoulos, P. D., Karatzia, H. 2010. Effects of In-Feed Inclusion of Clinoptilolite on Blood Serum Concentrations of Aluminium and Inorganic Phosphorus and on Ruminal pH and Volatile Fatty Acid Concentrations in Dairy Cows. *Biological Trace Element Research*, 142 (2):159-166.
- Krushensky, R. D., Cargill, S. M. and Raines, G. L. 1987. Proceeding of a workshop on development of mineral energy, and water resources and mitigation of geologic hazards in central America. Universidad de California, San Diego. pp. 109-112.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Straub, and R. D. Wolfinger. 1996. *SAS System for Mixed Models*. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Lon-Wo, E., Acosta, A. y Cárdenas, M. 2010. Efecto de la zeolita natural (Clinoptilolita) en la dieta de la gallina ponedora. Su influencia en la liberación de amoníaco por las deyecciones. *Revista Cubana de Ciencias Agrícola* 44 (4): 389-392.
- Lon-Wo, E., Pérez, F. and González, J. L. 1987. Inclusión de 5% de zeolita (Clinoptilolita) en dietas para pollos de ceba en condiciones de producción. *Revista Cubana Ciencia Agrícola* 21: 169.
- Lon-Wo, E., Zaldivar, V. and Margolle, E. 1993. Efecto de las zeolitas naturales en la alimentación avícola con diferentes planos nutricionales o alta contaminación por micotoxinas. *Revista Cubana De Ciencias Agrícolas* 27:207.

- López, R. M., Hernández, E. M., Barahona, A. C. R., Martínez, G. M. A., Portillo, R. R., Rojas, G. F. 2010. Physicochemical Properties of Treated Clinoptilolite with Fertilizers to use as Additive to the Cultivation of *Pleurotus ostreatus*. *Terra Latinoamericana*, 28 (3), 247-254.
- Ly, J., Lon-Wo, E., Castro, M. 1996. Balance de N y energía en credos alimentados con dietas de mieles y zeolitas naturales cubanas de distintos yacimientos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 30:295.
- Mallek, Z., Fendri, I., Khannous, L., Ben Hassena, A., Traore, A. I., Ayadi, M., and Gdoura, R. 2012. Effect of zeolite (clinoptilolite) as feed additive in Tunisian broilers on the total flora, meat texture and the production of omega 3 polyunsaturated fatty acid. *Lipids In Health And Disease*, 1135.
- Matthews, J. O., Southern, L. L., Bidner, T. D. 1999. Effect of a hydrated sodium calcium aluminosilicate on growth performance and carcass traits of pigs. *The Professional Animal Scientist* 15:196-200. Disponible en: <http://pas.fass.org/content/15/3/196.full.pdf+html>. Accesado el 15 de mayo del 2015.
- Maynard, A. L., Loosli, K. J., Harold, F. H., Warner, G. R. 1979. *Nutrición Animal*. McGraw-Hill. Séptima edición.
- McCollum, F. T. and Galyean, M. L. 1983. Effects of Clinoptilolite on rumen fermentation, digestion and feedlot performance in beef steers fed high concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 56:517.

- Montalvo, S. 2012. Aplicación de las zeolitas naturales al tratamiento biológico de residuos. In *Congreso Latinoamericano de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente* Vol. 7.
- Morales, R. E. A. 2011. Utilización de zeolita (clinoptilolita) en dietas de ovinos sobre el rendimiento productivo y nivel de N en excreciones fecales. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Morante, F., Garcés, D., Michaels, L., Mina, A., Noriega, R., 2013. "Metodología de Investigación para la Prospección de Yacimientos de Zeolitas Naturales de Origen Vulcano Sedimentarios". Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros, Vol. IV. Disponible en: <file:///C:/Users/User/Downloads/Cyted%202013%20Metodologia%20de%20investigacionzeolitas.pdf>
- Mumpton, F. A. 1984. The role of natural zeolites in agriculture and aquaculture. *ZeoAgriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Pp 3-27.
- Mumpton, F. A. 1999. *La Roca mágica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry*. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America vol. 96 no. 7 3463-3470. Disponible en: <http://www.pnas.org/content/96/7/3463.abstract>. Accesado el 13 de abril del 2011.

- Mumpton, F. A., Fishman, P. H. 1977. The Application of Natural Zeolites in Animal Science and Aquaculture. J. Anim. Sci. 45:1188-1203.
- Olguín, G. M. T. 2005. Zeolitas Características y Propiedades. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Depto. de Química.
- Ostroumov F. M., Ortiz L. E., Corona C.P. 2003. "Zeolitas de México diversidad mineralógica y aplicaciones". Sociedad Mexicana de Mineralogía.
- Ostroumov, F. M. 2002. Zeolitas de México: Diversidad mineralógica y aplicaciones. Universidad michoacana de San Nicolás de hidalgo. Disponible en: http://mineralog.net/Articulos_electronicos/ZeolitasMexico.pdf.
- Pérez, P., L. M. Fraga, M. C. Bofill, and N. Pérez. 1988. Adición de zeolitas en las dietas con miel fina para pollos de engorde. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 22:179.
- Pond, G. W. 1984. Response of Growing Lambs to Clinoptilolite or Zeolite NaA Added to Corn, Corn-Fish Meal and Corn-Soybean Meal Diets. J. Anim. Sci. 59:1320-1328.
- Pulido, R. G. and A. Fehring. 2004. Efecto de la adición de una Zeolita natural sobre la respuesta productiva de terneras de lechería, postdestete. Archivos de Medicina Veterinaria 36 (2) Valdivia. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0301-732X2004000200010&script=sci_arttext.

- Ruíz, O., Castillo, Y., Elías, A., Arzola, C., Rodríguez, C., Salinas, J., La O, O., Holguín, C. 2008. 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.
- Ruíz, O., Castillo, Y., Miranda, M. T., Elías, A., Arzola, C., Rodríguez, C., & La O, O. 2007. Niveles de zeolita y sus efectos en indicadores de la fermentación ruminal en ovinos alimentados con heno de alfalfa y concentrado. *Revista Cubana De Ciencia Agrícola*, 41(3), 253-257.
- Shurson, G. C., P. K. Ku, E. R. Miller and M. T. Yokoyama. 1984. Effects of Zeolite a or Clinoptilolite in Diets of Growing Swine. *J Anim Sci.* 59:1536-1545.
- Song, M., Liu, Y., Soares, J. A., Che, T. M., Osuna, O., Maddox, C. W., and Pettigrew, J. E. 2012. Dietary clays alleviate diarrhea of weaned pigs. *Journal of Animal Science*, 90(1), 345-360.
- Tang, Z. G., Chen, G. Y., Li, L. F., Wen, C., Wang, T., & Zhou, Y. M. 2015. Effect of zinc-bearing zeolite clinoptilolite on growth performance, zinc accumulation, and gene expression of zinc transporters in broilers. *J. Anim. Sci.* 93(2), 620-62.
- Urbina, S. E., Baca-Castillo, G. A., Núñez-Escobar, R., Colinas-León, M. T., Tijerina-Chávez, L., and Tirado-Torres, J. L. 2006. Cultivo hidropónico de

plántulas de jitomate en zeolita cargada con K^+ , Ca^{2+} O Mg^{2+} y diferente granulometría. Agrocienca, 40: 419-429.

Urías, E. J. D. 2011. Efecto de Zeolita (Clinoptilolita) en substitución de una mezcla de maíz y pasta de soya en la respuesta productiva y características de canal de ovinos de pelo en engorda intensiva. Tesis. Universidad Autónoma de Sinaloa.

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

EXPERIMENTO 1

Running head: Zeolites in finishing diets for feedlot cattle

Influence of zeolite (clinoptilolite) supplementation on characteristics of digestion and ruminal fermentation of steers fed a steam-flaked corn-based finishing diet

J. D. Urías-Estrada ^A, M. A. López-Soto ^A, A. Barreras ^A, J. A. Aguilar-Hernández ^A
V. M. González-Vizcarra ^A, A. Estrada-Angulo ^B, R. A. Zinn ^C, G. D. Mendoza ^D and
A. Plascencia ^{A E}

^A Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California. Km 4.5 carretera Mexicali-San Felipe, CP 21386, Mexicali, Baja California, México.

^B Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel s/n; Fraccionamiento San Benito 80246, Culiacán, Sinaloa, México.

^C Department of Animal Science, University of California Davis, Davis CA, 95616, USA.

^D Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100 Colonia Villa Quietud Delegación Coyoacán 04960, DF, México.

^E Corresponding author. Email: alejandro.plascencia@uabc.edu.mx; aplas_99@yahoo.com

Aceptado en: Journal of Animal Production Science

Summary text for the Table of Contents

Because of their sorbent properties and binding capacity with ammonia, natural zeolites may have application as feed additive in livestock industry. Our results indicate that zeolite supplementation of high finishing diets enhances ruminal fermentation and increasing digestion.

Abstract

Four Holstein steers (328 ± 14 kg) with ruminal and duodenal cannulas were used in a 4×4 Latin square design to examine the effect of level of zeolite supplementation (0, 10, 20 or 30 g clinoptilolite-Ca/ kg of diet) in a steam-flaked corn-based finishing diet on the characteristics of ruminal fermentation and nutrient digestion. Zeolite was top-dressed with the basal diet at time of feeding; therefore, intake of organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF), starch and N was equal in all treatments. Zeolite supplementation did not affect site and extent of digestion of N or NDF. Zeolite linearly decreased ($P < 0.01$) $\text{NH}_3\text{-N}$ flow to duodenum, but did not affect duodenal flow of microbial N, feed N, or microbial efficiency. Inclusion of zeolite linearly increased ($P = 0.02$) ruminal OM digestion and tended (linear, $P = 0.08$) to increase ruminal digestion of starch. Zeolite supplementation increased (linear effect, $P < 0.01$) fecal excretion of ash, resulting in decreased total tract DM digestion (linear effect, $P = 0.04$). However, total tract digestion of OM tended to increase ($P = 0.06$) with increasing zeolite supplementation. Thus, dilution of the diet with zeolite did not depress dietary digestible energy. There were no treatment effects on ruminal pH. Total ruminal VFA concentration tended ($P = 0.08$) to increase as zeolite increased. Zeolite supplementation

decreased ruminal molar proportion of acetate and increased molar proportion of propionate (linear effect, $P < 0.01$), resulting in decreased (linear effect, $P < 0.01$) of acetate: propionate ratio. Supplementation with zeolite at levels of up to 30 g of zeolite/kg of diet may enhance ruminal OM digestion, largely due to the tendency of increased ruminal starch digestion. Zeolite supplementation altered ruminal VFA molar proportions (decreased acetate: propionate ratio), and therefore may have an positive impact on energy efficiency

Additional keywords: cattle, digestion, feedlot ration, ruminal fermentation, zeolite

Introduction

Natural zeolites are a family of minerals of volcanic origin that are composited of crystalline aluminosilicates. Their dimensional structures are characterized by an ability to lose and gain water reversibly and to exchange cations without major change of their structure (Inglezakis and Zorpas 2012). Clinoptilolite is the most abundant natural zeolite. Due to its high cation-exchange capacity (about twice that of bentonite clay; Querol *et al.* 2002) has been extensively used as an additive in the agriculture industry (Mumpton 1999). Because of its characteristic sorbent properties that modifies ruminal fluid viscosity (Spotti *et al.* 2005), and binding capacity with $\text{NH}_3\text{-N}$, zeolite may have application as a feed additive in ruminant nutrition (Mumpton and Fishman 1977). Zeolite supplementation in ruminant diets has been examined at levels ranging from 1 to 9% of dry matter intake (Trckova *et al.* 2004; Cole *et al.* 2007; Ghaemnia *et al.* 2010). In several studies (Pond 1984; Ghaemnia *et al.* 2010; Goodarzi and Nanekarani 2012) effects of zeolite supplementation resulted in positive effects on digestion and growth

performance. Whereas in others, no effects, or even negative effects (Gaylean and Chabott 1981; Sherwood *et al.* 2005) were observed. Inconsistencies in response to supplementation could be attributed to factors such as level of supplementation (McColumm and Galyean 1983), method of addition (by substitution for one or more ingredients in diet that change chemical composition between controls and zeolite diets, Câmara *et al.* 2012) or by type of diet (forage level, degradable intake protein level; Pond 1984,1989). Limited information is available about of role of zeolite on digestion and ruminal fermentation of finishing diets (McCollum and Galyean 1983). The objective of this experiment was to evaluate the influence of level of zeolite supplementation on characteristics of ruminal and total tract digestion, ruminal pH, and alterations in end products of ruminal fermentation of cattle fed a steam-flaked corn-based finishing diet.

Material and methods

The trial was conducted at the Ruminant Metabolism Experimental Unit of the Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias of the Universidad Autónoma de Baja California located 10 km south of Mexicali City in northwestern México (32° 40' 7"N and 115° 28' 6"W). The area is about 10 m above sea level, and has Sonora desert conditions (BWh classification according Köppen). All animal management procedures were conducted within the guidelines of locally-approved techniques for animal use and care.

Animals, treatments, and sampling

Four Holstein steers (328 ± 14 kg live weight) fitted with ruminal and duodenal cannulas were used in a 4×4 Latin square design to evaluate the influence of level of zeolite supplementation (0, 10, 20 or 30 g of zeolite/ kg DM basis (as clinoptilolite-Ca) on characteristics of digestion. These levels were selected to reflect the range in supplementation of zeolite used in prior research wherein positive responses were observed (Pond 1984; Trckova *et al.* 2004; Goodarzi and Nanekarani 2012). The source of zeolite used was clinoptilolite-Ca (ZEO-SIL; Grupo TCDN, Puebla, México). Steers were housed in individual pens (3.9 m^2) in an indoor facility, with a concrete floor covered with a neoprene mat, automatic waterers and individual feed bunks. All steers received *ad libitum* access to a basal diet for 21 days before the initiation of the trial. To avoid feed refusals, and in order to ensure an equal organic matter intake between treatments, DM intake of basal diet was restricted to 6.77 kg/d (90% of observed DM intake during a 14-d preliminary period before start of the trial which was equivalent to 88 g feed/kg of live weight^{0.75}). Zeolite was weighed using a precision scale (Ohaus, mod AS612, Pine Brook, NJ) and was added in equal proportions to the basal diet (top-dressed) at time of feeding. The ingredient and chemical composition of experimental diets is shown in Table 1. The basal diet was fed in two equal proportions at 0800 and 2000 h daily. Chromic oxide (3.0 g/kg of diet air-dry basis) was used as an indigestible marker to estimate nutrient flow and digestibility. Chromic oxide was premixed with minor ingredients (urea and mineral supplement composed by limestone and trace mineral salt) in a 2.5 m^3 capacity concrete mixer (mod 30910-7, Coyoacán, Mexico) for 5 min prior to incorporation into the complete-mixed basal diet. Steam-flaked corn was prepared to

provide flake density 0.32 kg/L, while wheat straw was ground in a hammer mill (Bear Cat #1A-S, Westerns Land and Roller Co., Hastings, NE) with a 3.81 cm screen, before incorporation into complete mixed diets (Table 1). Experimental periods consisted of 21 days, with 10 days for dietary treatment adjustment, 4 days for sample collection, and 7 days of zeolite withdrawal. During the collection period, duodenal and fecal samples were taken from all steers, twice daily as follows: d 1, 0750 and 1350 h; d 2, 0900 and 1500 h; d 3, 1050 and 1650 h; and d 4, 1200 and 1800 h. Individual samples consisted of approximately 500 mL of duodenal chyme and 200 g (wet basis) of fecal material. Feed, duodenal and fecal samples from each steer and within each collection period were prepared for analysis as follows: Samples were first oven-dried at 70°C and then ground in a laboratory mill (Micro-Mill, Bell-Arts Products, Pequannock, NJ). Samples were then oven-dried at 105°C until constant weight and stored in sealed glass jars. During the final day of each collection period, ruminal samples were obtained from each steer at 4 h after the morning feeding via the ruminal cannula. Ruminal fluid pH was determined on fresh samples. Samples were then strained through four layers of cheese cloth. For VFA analysis, 2 mL of freshly prepared 25% (w/vol) meta-phosphoric acid was added to 8 mL of strained ruminal fluid, centrifuged ($17,000 \times g$ for 10 min) and supernatant fluid stored at -20°C. Upon completion period 2 and period 4 of the trial, at 1200 h (4 h after the morning feeding), ruminal fluid (approximately 500 mL) was obtained from all steers and composited for isolation of ruminal bacteria via differential centrifugation (Bergen *et al.* 1968). The microbial isolate served as the purine: N reference for the estimation of microbial N contribution to chyme entering the small intestine (Zinn and Owens 1986).

Sample analysis and calculations

Feed, duodenal and fecal samples were subjected to the following analysis: DM (oven drying at 105°C until no further weight loss; method 930.15; AOAC 2000); ash (method 942.05; AOAC 2000), Kjeldahl N (method 984.13; AOAC 2000); neutral detergent fiber [NDF; Van Soest *et al.* 1991, corrected for NDF-ash, incorporating heat stable α -amylase (Ankom Technology, Macedon, NY) at 1 mL per 100 mL of NDF solution (Midland Scientific, Omaha, NE)]; chromic oxide (Hill and Anderson 1958), and starch (Zinn 1990). In addition, gross energy (GE, using the adiabatic bomb model 1271; Parr Instrument Co., Moline, IL. USA) was determined for feed and fecal samples. Ammonia-N (method 941.04; AOAC 2000) and purines (Zinn and Owens 1986) were determined in duodenal samples. Concentrations of VFA in ruminal fluid were determined by gas chromatography using 10% SP-1200/1% H₃PO₄ on 80/100 Chromsorb W AW packing in a 183 cm × 22 cm i.d. glass column with column, inlet and detector temperatures maintained at 120, 195 and 200°C, respectively, and with N₂ carrier gas flow rate at 20 mL/min (Zinn 1988).

The digestion coefficients were indirectly estimated using the Cr₂O₃ as external marker. Total DM flow to the duodenum and fecal excretion were estimated by the relationship of Cr intake (g) vs. concentration of Cr in duodenal and fecal samples as follows: Total DM output, g/d = Cr₂O₃ intake, g/ (g Cr₂O₃•g⁻¹ Cr₂O₃ in digesta sample). Organic matter (OM) content of feed and digesta samples were estimated as DM minus ash content. Microbial organic matter (MOM) and microbial nitrogen (MN) entering to duodenum (measured from duodenal cannula placed 6 cm from pyloric sphincter) were

calculated using purines as a microbial marker (Zinn and Owens 1986). Organic matter fermented in the rumen was considered equal to the OM intake minus the difference between the amount of total OM reaching the duodenum and the MOM reaching the duodenum. Feed N escape to the small intestine was considered equal to the total N leaving the abomasum minus ammonia-N and MN and, thus, includes any endogenous contributions. Ruminal microbial efficiency was estimated as duodenal MN, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ OM fermented in the rumen and protein efficiency represent the duodenal non-ammonia N, $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ N intake.

Statistical analysis

The effects of the zeolite level on characteristics of digestion and fermentation were analyzed as a 4×4 Latin square design using the MIXED procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The fixed effects consisted of treatment and period, and steer as a random effect. The statistical model for the trial was as follows:

$Y_{ijk} = \mu + S_i + P_j + T_k + E_{ijk}$, where: Y_{ijk} is the response variable, μ is the common experimental effect, S_i is the steer effect ($n=4$), P_j is the period effect, T_k is the treatment effect (doses levels of 0, 71, 142, and 215 g /day), and E_{ijk} is the residual error. Treatments effects on digestion and fermentation variables were tested by means of orthogonal polynomials (linear, quadratic, and cubic effects; SAS Inst., Inc., Cary, NC; Version 9.3). In all cases, least squares means and standard error are reported and contrasts were considered significant when the P value was ≤ 0.05 , and tendencies are identified when the P -value was > 0.05 and ≤ 0.10 .

Results

Quadratic and cubic effects were not significant ($P \geq 0.10$). Thus, the P -values for those components are not presented in the tables.

Characteristics of ruminal and total tract digestion

Treatment effects on characteristics of digestion of OM, NDF, starch, and N are shown in Table 2. Because zeolite was added to the basal diet (top-dressed) at time of feeding, intakes of DM and ash increased linearly as zeolite level increased in diet.

Zeolite supplementation did not affect ($P \geq 0.21$) site and extent of digestion of N and neutral detergent fiber. As inclusion of zeolite increased, $\text{NH}_3\text{-N}$ flow to the duodenum decreased (linear effect, $P < 0.01$), but did not affect ($P > 0.51$) duodenal flow of microbial N, feed N or microbial efficiency (g microbial N/kg OM fermented). Inclusion of zeolite increased (linear effect, $P = 0.02$) ruminal OM digestion, and tended (linear effect, $P = 0.08$) to increase ruminal digestion of starch. As expected, zeolite supplementation increased fecal excretion of ash (linear effect, $P < 0.01$), and decreased (linear effect, $P = 0.04$) total tract dry matter (DM) digestion. However, zeolite supplementation tended to increase (linear effect, $P = 0.06$) total tract OM digestion. Supplementation also resulted in a small, yet statistically significant increase (linear effect, $P = 0.02$) in total tract starch digestion. There were no treatment effects ($P = 0.27$) on dietary digestible energy (DE).

Ruminal Fermentation

The ruminal pH, measured 4 h after feeding, averaged 5.77 ± 0.29 and was not affected ($P > 0.32$) by zeolite supplementation (Table 3). Total ruminal VFA concentration tended (linear effect, $P = 0.08$) to increase as zeolite increased. Ruminal molar proportion of acetate decreased, and propionate increased (linear effect, $P < 0.01$) as zeolite level increased, resulting in decreased (linear effect, $P < 0.01$) acetate: propionate ratio.

Discussions

The zeolite used in this experiment (San Juan Raya deposit, Puebla region; Grupo TCDN, Puebla, México), was comprised (g/kg of product) of SiO_2 (662), Al_2O_3 (146), and CaO (27.3), in good agreement with tabular mineral composition of natural zeolite (clinoptilolite-Ca) reported by EFSA (2013) and by Shadrikov and Petukhov (2014). The high cation exchange capacity of zeolite (2.16 meq/g) is attributed to its high Si: Al ratio (Mumpton 1999).

Characteristics of ruminal and total tract digestion

Very limited information has been reported regarding the effects of zeolite supplementation on site and extent of digestions of steers fed high-grain finishing diets. The decreased duodenal flow of $\text{NH}_3\text{-N}$ in response of zeolite supplementation is consistent with binding capacity of zeolite with $\text{NH}_3\text{-N}$. In vivo and *in vitro* data showed that up to 15 percent of the NH_4^+ in the rumen could be taken up by the zeolite (Mumpton and Fishman 1977). Consistent with previous work (McCollum and Galyean 1983; Sherwood *et al.* 2005) this effect was not reflected in greater microbial protein

synthesis or net flow of non-ammonia N to the small intestine. In the present study, degradable protein intake averaged 99.8 g/kg digestible OM intake. Previous reports (Zinn and Shen 1998; May *et al.* 2014) indicates that irrespective of N source (NPN or intact protein), microbial protein synthesis is maximal when degradable intake protein is roughly 100 g/ kg of digestible organic matter intake. Bach et al (2005) indicated that, to obtain optimal bacterial growth is require about $1.31 \times$ rumen-available N per unit of bacterial N.

The increase of ruminal OM digestion with zeolite supplementation was mainly due to the tendency of increases of ruminal starch digestion. One factor that may increase ruminal digestion is decreased passage rates, lengthening the exposure time of substrate to the fermentative processes (Krehbiel 2014). Because of its sorbent properties that increase ruminal fluid viscosity (Spotti *et al.* 2005), it was proposed that zeolite inclusion might decrease dilution rate. However, the effect of zeolite on ruminal passage rate has not been consistent (McCollum and Galyean 1983; Johnson *et al.* 1988). Sweeney *et al.* (1984) observed that organic matter digestion increased (3.5%) with the addition of 50 g of zeolite/kg of diet. McCollum and Galyean (1983) observed numerical increases in ruminal digestion of OM and starch (2.6 and 2.8%, respectively) with supplementation of 25 g zeolite/ kg of finishing diet. Apart from potential effects of zeolite on ruminal fluid dilution rate, ionized calcium (Ca^{2+}) released from zeolite may have stimulated activity of amylolytic bacteria, as has been observed with some cellulolytic bacteria (Morales and Dehority 2014). Additional research is needed to obtain a more complete description of the possible effects of zeolite supplementation on

the physical aspects of digesta and associated effects on ruminal kinetics and ruminal microbial populations in cattle fed high-grain finishing diets.

Due to increased ash intake, the observed decrease in total tract DM digestion with zeolite supplementation was expected (Johnson *et al.* 1988; Ghaemnia *et al.* 2010). Although, in some cases (McCollum and Galyean 1983; Câmara *et al.* 2012) total tract DM digestion was unaffected by zeolite supplementation at levels of 30 to 50 g zeolite/kg of diet DM.

Responses to zeolite supplementation on apparent N digestion have not been consistent. In steers that were fed high-energy finishing diets (<60% UIP and <20% NDF) zeolite supplementation ($\leq 2.5\%$) did not affect N digestion (McCollum and Galyean 1983; Cole *et al.* 2007). Whereas, in lambs fed growing diets (>70% UIP and 32% NDF), zeolite supplementation (6%) increased (3.5%) N digestion (Ghaemnia *et al.* 2010). The basis for this is not certain, but may be related to differences in level of zeolite supplementation and/or levels of dietary UIP and NDF. In the present study, the higher level of zeolite was equivalent to 3% of dietary DM, and observed UIP and NDF averaged 45% and 17.3%, respectively.

In ruminants, very little information is available regarding the influence of zeolite supplementation on starch digestion. In non-ruminants (poultry and swine), zeolite supplementation increased digestion of nitrogen-free extract (Mumpton and Fisherman 1977; Zhou *et al.* 2014). This response was attributed to increased amylase, maltase and sucrase activity at the level of the jejunal mucosa (Ouhida *et al.* 2000; Tang *et al.* 2014). In ruminants, Hemken *et al.* (1984) observed greater total tract starch

digestion in cows fed lactation diets supplemented with zeolite. In contrast, McCollum and Galyean (1983) did not detect effects of zeolite on total tract starch digestion in steers.

Considering how the coefficients of digestion are calculated, inconsistencies of zeolite supplementation on total nutrient excretion could be due by differences in ash content in feces between control and supplemented diets. The average fecal ash excretion was 210 ± 10.3 , 243 ± 30 , 309 ± 20 , and 362 ± 28 g/d for the 0, 10, 20 and 30 g zeolite/kg treatments, respectively. For the unsupplemented steers, fecal ash was 14.3 g/100 g of fecal DM, in good agreement (14.2 ± 2.2 g ash/100 g fecal DM, $n = 24$) to fecal ash concentration observed in other studies conducted at this center in cattle fed similar steam-flaked corn-based finishing diets (Plascencia *et al.* 2011; López-Soto *et al.* 2013; Aguilar-Hernández *et al.* 2016) and elsewhere (Zinn *et al.* 1994; Carrasco *et al.* 2013). Therefore, it may be inferred that the interval of withdrawal between the sampling periods (a total of 17 days, 7 days of withdrawal plus 10 days of diet adaptation before to start sampling) was sufficient to eliminate the zeolite consumed during a prior experimental period. According to EFSA (2013), there is no evidence that zeolite will be degraded during its passage through the gastrointestinal tract of target animals; therefore, zeolite is essentially not absorbed and is excreted with the feces. In the present study, fecal ash increased linearly ($r^2=0.90$, $P < 0.01$) with increasing zeolite intake. The increase in fecal ash was associated with decreased DM digestion. However, due to positive treatment effects on OM digestion, dilution of the diet with zeolite did not affect dietary digestible energy (Mcal/kg).

Ruminal Fermentation

Observed ruminal pH in the present study is in close agreement (0.99) with the prediction based on the diet formulation (5.71; NRC 2000, Level 1). In an acidic environment, zeolite can exchange its cations with H⁺ and hence, may have a buffering role (Erwanto *et al.* 2012). However, previous works with steers (Galyean and Chabot 1981; Sweeney *et al.* 1984) and dairy cattle (Johnson *et al.* 1988; Dschaak *et al.* 2010) did not observe this plausible effect. Galyean and Chabot (1981) observed numerically increased molar concentrations of propionate and decreased molar concentrations of acetate 4-h after feeding steers a high-roughage diets supplemented with 20 g zeolite/kg of diet. Likewise, McCollum and Galyean (1983) observed increased molar proportion of propionate in steers fed a finishing diet supplemented with 25 g of zeolite/kg diet DM. These effects of zeolite on VFA molar proportions were not associated with changes in ruminal passage rate (Galyean and Chabot 1981), nor ruminal digestion of OM, fiber or starch (McCollum and Galyean 1983). In the present study, the propionate molar proportion increased with zeolite supplementation. However, in this case, the increase was associated with increased ruminal OM and to the tendency of increased ruminal starch digestion. Increased ruminal molar proportion of propionate has been a consistent response to increased ruminal starch digestion (Plascencia and Zinn 1996; Corona *et al.* 2005, 2006).

Conclusions

Supplementation with zeolite at levels of up to 30 g of zeolite/ kg of diet dry matter may enhance ruminal and total tract organic matter and starch digestion, but does

not appreciably affect net ruminal microbial growth or efficiency of nitrogen utilization. Zeolite supplementation alters ruminal VFA molar proportions (decreasing acetate:propionate ratio), and thereby may have an positive impact on energy efficiency.

References

- Aguilar-Hernández JA, Urías-Estrada JD, López-Soto MA, Barreras A, Plascencia A, Montaña M, González-Vizcarra VM, Estrada-Angulo A, Castro-Pérez BI, Barajas R, Rogge HI, Zinn RA (2016) Evaluation of isoquinoline alkaloids supplementation levels on ruminal fermentation, characteristics of digestion and microbial protein synthesis in steers fed a high-energy diet. *Journal of Animal Science* **94**, 267-274.
- AOAC (2000) 'Official methods of analysis.' 17th edn. (Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, MD).
- Bach A, Calsamiglia S, Stern MD (2005) Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science* **88** (E Suppl), E9-E21.
- Bergen WG, Purser DB, Cline JH (1968) Effect of ration on the nutritive quality of microbial protein. *Journal of Animal Science* **27**, 1497-1501.
- Câmara LRA, Valadares SC, Leão MI, Valadares RFD, Dias M, Gomide APC, Barros ACW, Nascimento VA, Ferreira DJ, Faé JT, Carneiro C, Cardoso LL (2012) Zeolite in the diet of beef cattle (in Portuguese). *Arquivo Brasileiro Medicina Veterinaria y Zootecnia* **64**, 631-639.
- Carrasco R, Arrizon AA, Plascencia A, Torrentera NG, Zinn RA (2013) Comparative

- feeding value of distillers dried grains plus solubles as a partial replacement for steam-flaked corn in diets for calf-fed Holstein steers: characteristics of digestion, growth-performance, and dietary energetic. *Journal of Animal Science* **91**, 1801-1810.
- Cole NA, Todd RW, Parker DB (2007) Use of fat and zeolite to reduce ammonia emissions from beef cattle feedyards. 'Proceeding Air Quality Waste Management Agriculture.' (ASABE 701P0907cd: Broomfield CO)
- Corona L, Owens FN, Zinn RA (2006) Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. *Journal of Animal Science* **84**, 3020-3031.
- Corona L, Plascencia A, Ware RA, Zinn RA (2005) Comparative feeding value of palmitate as a substitute for conventional feed fat in cattle. *Journal of Animal and Veterinary Advances* **4**, 247-253.
- Dschaak CM, Eun JS, Young AJ, Stott RD, Peterson S (2010) Effects of supplementation of natural zeolite on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactational performance of dairy cows. *Professional Animal Scientist* **26**, 647-654.
- EFSA (2013) Scientific Opinion on the safety and efficacy of clinoptilolite of sedimentary origin for all animal species. European Food Safety Authority. *EFSA Journal*. **11**, 3039-3052.
- Erwanto IR, Zakaria WA, Prayuwidayati M (2012) The use of ammoniated zeolite to improve rumen metabolism in ruminant. *Animal Production* **13**, 138-142.

- Galyean ML, Chabot RC (1981) Effect of sodium bentonite, buffer salts, cement kiln dust and clinoptilolite and rumen characteristics in beef steers fed a high roughage diet. *Journal of Animal Science* **52**, 1197-1204.
- Ghaemnia L, Bojarpour M, Mirzadeh KH, Chaji M, Eslami M (2010) Effect of different levels of zeolite on digestibility and some blood parameters in Arabic lambs. *Journal of Animal Veterinary Advances* **9**, 779-781.
- Goodarzi M, Nanekarani S (2012) The effects of calcic and potassic clinoptilolite on ruminal parameters in Lori breed sheep. *APCBEE Procedia* **4**, 140 – 145.
- Hemken FW, Harmon RJ, Mann LM (1984) Effect of clinoptilolite on lactating dairy cows fed a diet containing urea as a source of protein. In ‘Zeo-agriculture: use of natural zeolite in agriculture and aquaculture’. (Eds WG Pond, FA Mumpton) pp. 171-176. (Westview press: Boulder, CO).
- Hill FN, Anderson DL (1958) Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *Journal of Nutrition* **64**, 587-603.
- Inglezakis VJ, Zorpas A (2012) Natural zeolites structure and porosity. In ‘Handbook of natural zeolites’. (Eds. VJ Inglezakis, A Zorpas) pp. 133-146 (Bentham Science Publisher: Sharjah UAE).
- Johnson MA, Sweeney TF, Muller LD (1988) Effects of feeding synthetic zeolite A and sodium bicarbonate on milk production, nutrient digestion, and rate of digesta passage in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **71**, 946-953.
- Krehbiel CR (2014) Invited Review: Applied nutrition of ruminants: Fermentation and digestive physiology. *Professional Animal Scientist* **30**, 129-139.

- López-Soto MA, Valdés-García YS, Plascencia A, Barreras A, Castro-Pérez BI, Estrada-Angulo, A, Ríos FG, Gómez-Vázquez A, Corona L, Zinn RA (2013) Influence of feeding live yeast on microbial protein synthesis and nutrient digestibility in steers fed a steam-flaked corn-based diet. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science* **63**, 39-46.
- May D, Calderon JF, Gonzalez VM, Montano M, Plascencia A, Salinas-Chavira JA, Torrentera N, Zinn RA (2014) Influence of ruminal degradable intake protein restriction on characteristics of digestion and growth performance of feedlot cattle during the late finishing phase. *Journal of Animal Science and Technology* **56**, 14.
- McCollum FT, Galyean ML (1983) Effects of clinoptilolite on rumen fermentation, digestion and feedlot performance in beef steers fed high concentrate diets. *Journal of Animal Science* **56**, 517-524.
- Morales MS, Dehority BA (2014) Magnesium requirement of some of the principal rumen cellulolytic bacteria. *Animal* **8**, 1427-1432.
- Mumpton FA (1999) La roca magica: Uses of natural zeolite in agriculture and industry. In ‘Proceeding of Geology, minerology, and human welfare’. *PNAS* **96**, 3463-3349.
- Mumpton FA, Fishman PH (1977) The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. *Journal of Animal Science* **45**, 1188-1202.
- NRC (2000) ‘Nutrient Requirements of Beef Cattle.’ 7th rev. edn. (National Academy of Sciences Press: Washington, DC).

- Ouhida I, Perez JF, Gasa J, Puchal F (2000) Enzymes (β -glucanase and arabinoxylanase) and/or sepiolite supplementation and the nutritive value of maize-barley-wheat based diets for broiler chickens. *British Poultry Science* **41**, 617-624.
- Plascencia A, Bermúdez R, Cervantes M, Corona L, Dávila-Ramos H, López-Soto MA, May D, Torrentera N, Zinn RA (2011) Influence of processing method on comparative digestion of white corn vs. conventional steam-flaked yellow dent corn in finishing diets for feedlot steers. *Journal of Animal Science* **89**, 136-141.
- Plascencia A, Zinn RA (1996) Influence of flake density on the feeding value of stem-processed corn in diets for lactating cows. *Journal of Animal Science* **74**, 310-316.
- Pond WG (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.
- Pond WG (1989) Effects of dietary protein level and clinoptilolite on the weight gain and liver mineral response of growing lambs to copper supplementation. *Journal of Animal Science* **67**, 2772-2781.
- Querol X, Moreno N, Umaña JC, Alastuey A, Hernández E, López-Soler A, Plana F (2002) Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview. *International Journal of Coal Geology* **50**, 413-423.
- SAS Institute (2007) 'SAS/STAT: user's Guide: Statistics. Release 9.3.' (SAS Institute Inc.: Cary, NC).

- Shadrikov AS, Petukhov AD (2014) Natural zeolite-clinoptilolite characteristics determination and modification. National Tech University Ukrania. Technical Report. pp. 162-167 (UDC 544.02+546.05).
- Sherwood DM, Erickson GE, Klopfenstein TJ (2005) Effect of clinoptilolite zeolite on cattle performance and nitrogen volatilization loss. Nebraska Beef Cattle Reports. Paper 177.
- Spotti M, Fracchiola ML, Arioli F, Canoni F, Pompa G (2005) Aflatoxin B₁ binding to sorbents in bovine ruminal fluid. *Veterinary Research Communications* **29**, 507-515.
- Sweeney TF, Cervantes A, Bull LS, Hemken RW (1984) Effects of dietary clinotilolite on digestion and rumen fermentation in steers. In 'Zeo-agriculture use of natural zeolites in agriculture and aguaculture'. (Eds. WG Pond, FA Mumpton) pp 177-187 (Westview Press: Boulder, CO).
- Tang Z, Wen C, Li P, Wang T, Zhou Y (2014) Effect of zinc-bearing zeolite clinoptilolite on growth performance, nutrient retention, digestive enzyme activities, and intestinal function of broiler chickens. *Biological Trace Element Research* **158**, 51-57.
- Trckova M, Matlova L, Dvorska L, Pavlik I (2011) Kaolin, bentonite and zeolites as feed supplements for animals: health advantages and risks. *Veterinary Medicine Czech* **49**, 389-399.

- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* **74**, 3583–3597.
- Zhou P, Tan YQ, Zhang L, Zhou YM, Gao F, Zhou GH (2014) Effects of dietary supplementation with the combination of zeolite and attapulgite on growth performance, nutrient digestibility, secretion of digestive enzymes and intestinal health in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* **27**, 1311-1318.
- Zinn RA (1988) Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *Journal of Animal Science* **66**, 213-227.
- Zinn RA (1990) Influence of steaming time on site of digestion of flaked corn in steers. *Journal of Animal Science* **68**, 776-781.
- Zinn RA, Borquez JL, Plascencia A (1994) Influence of levels of supplemental urea on characteristics of digestion and growth performance of feedlot steers fed a fat-supplemented high-energy diets. *Professional of Animal Scientist* **10**, 5-10.
- Zinn RA, Owens FN (1986) A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Canadian Journal Animal Science* **66**, 157-166.

Zinn RA, Shen Y (1998) An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *Journal of Animal Science* **76**, 1280–1289.

Table 1. Ingredients and composition of basal diet fed to steers

Trace mineral salt contained: CoSO₄, 6.8 g/kg; CuSO₄, 10.4 g/kg; FeSO₄, 35.7 g/kg; ZnO, 12.4 g/kg; MnSO₄, 10.7 g/kg; KI, 0.52 g/kg; and NaCl, 923.5 g/kg. Dietary chemical composition was determined by analyzing subsamples collected and composited throughout the experiment. Accuracy was ensured by adequate replication with acceptance of mean values that were within 5% of each other. Degradable intake protein (DIP) was calculated based on tabular DIP values for individual ingredients (NRC 2000). NDF, neutral detergent fiber assayed with amylase and expressed exclusive of residual ash. Net energy was calculated based on tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC 2000)

Item	Diet composition (g/kg diet dry matter)
Ingredient	
Steam-flaked corn	618
Distillers dried grains with solubles	150
Wheat straw	120
Yellow grease	20
Molasses	60
Limestone	15
Urea	10
Trace mineral salt	4
Chromic oxide	3
<i>Chemical composition, (g/ kg DM)</i>	
Crude protein	138
Degradable intake protein	78.6

Starch	459
Neutral detergent fiber	173
Ash	56.1
<i>Dietary NE (Mcal/ kg)</i>	
Maintenance	2.10
Gain	1.40

Table 2. Influence of zeolite inclusion on digestive function in cannulated Holstein steers

Zeolite was added in equal proportions at moment in which the basal diet was offered. The quantity of 73, 146, and 219 g/d of zeolite added to the basal diet represent 10, 20, and 30 g zeolite/kg of diet DM, respectively. NDF, neutral detergent fiber assayed with amylase and expressed exclusive of residual ash. Microbial efficiency estimated as duodenal MN, g kg⁻¹ OM truly fermented in the rumen. N efficiency estimated as duodenal nonammonia-N, g g⁻¹ N intake

Item	Zeolite intake (g/d)				s.e.m.	Contrast <i>P</i> -Value
	0	73	146	219		Linear
Dry matter intake (g/d)						
Basal diet	6769	6769	6769	6769	0.00	1.00
Zeolite		73	146	219	2.88	<0.01
Total dry matter	6769	6842	6915	6988	2.80	<0.01
Ash intake	384	457	530	603	2.97	<0.01
Organic matter	6385	6385	6385	6385	0.00	1.00
NDF	1171	1171	1171	1171	0.00	1.00
Starch	3106	3106	3106	3106	0.00	1.00
Nitrogen	149	149	149	149	0.00	1.00
Gross energy (Mcal/d)	29.19	29.19	29.19	29.19	0.00	1.00
<i>Flow to duodenum (g/d)</i>						
Organic matter	3180	3142	2960	3083	36.5	0.03

NDF	616	612	587	590	26.5	0.42
Starch	484	466	403	393	35.5	0.08
Nitrogen	151	153	154	151	4.29	0.90
N-NH ₃	3.62	3.36	3.00	2.93	0.138	<0.01
Non ammonia N	147	149	151	149	4.29	0.80
Microbial N	81.9	82.0	83.9	83.5	2.71	0.59
Feed N	65.5	67.4	66.8	65.0	2.22	0.85
<i>Ruminal digestion (g/kg intake)</i>						
Organic matter	0.630	0.636	0.668	0.648	0.006	0.02
NDF	0.474	0.477	0.499	0.496	0.023	0.43
Starch	0.844	0.850	0.870	0.873	0.011	0.08
Feed N	0.561	0.548	0.552	0.564	0.015	0.85
MN efficiency	20.36	20.22	19.66	20.19	0.615	0.71
N efficiency	0.99	1.00	1.01	1.00	0.029	0.80
<i>Postruminal digestion (g/kg of entering)</i>						
Organic matter	0.619	0.608	0.603	0.623	0.008	0.81
NDF	0.172	0.192	0.144	0.122	0.032	0.22
Starch	0.935	0.939	0.956	0.956	0.008	0.07
Nitrogen	0.748	0.761	0.771	0.773	0.013	0.18
<i>Fecal excretion (g/d)</i>						
Dry matter	1417	1471	1482	1524	28.55	0.04
Organic matter	1215	1228	1174	1161	20.67	0.06
NDF	508	493	502	516	10.39	0.52
Starch	30.62	27.67	18.33	17.34	3.51	0.02
Nitrogen	38.13	36.32	35.05	34.32	1.54	0.12
Gross energy (Mcal/d)	6.256	6.228	6.291	6.072	0.09	0.26

	<i>Total tract digestion (g/g intake)</i>					
Dry matter	0.791	0.783	0.781	0.775	0.0042	0.04
Organic matter	0.810	0.808	0.816	0.818	0.0032	0.06
NDF	0.566	0.579	0.571	0.559	0.0089	0.52
Starch	0.990	0.991	0.994	0.994	0.0011	0.02
Nitrogen	0.744	0.756	0.765	0.770	0.0103	0.12
DE	0.786	0.787	0.785	0.792	0.0031	0.27
DE (Mcal/kg)	3.39	3.39	3.38	3.42	0.0132	0.27

Table 3. Influence of supplementation level of zeolite on ruminal pH and VFA concentration

Average of the ruminal samples taken at 4 h post-feeding. Zeolite was added in equal proportions at moment in which the basal diet was offered. The quantity of 73, 146, and 219 g/d of zeolite added to the basal diet represent 10, 20, and 30 g zeolite/kg of diet DM, respectively. Methane, mol/mol of glucose equivalent fermented (Wolin, 1960)

Item	Zeolite intake (g/d)				s.e.m	Contrast <i>P</i> -Value
	0	73	146	219		Linear
Ruminal pH	5.87	5.75	5.77	5.67	0.12	0.32
Total VFA, moles	82.92	86.63	87.59	101.79	6.09	0.08
	<i>Ruminal VFA (mol/100 mol VFA)</i>					
Acetate	55.07	53.39	52.80	50.87	0.70	<0.01
Propionate	31.79	33.05	35.80	37.64	1.14	<0.01
Butyrate	13.14	13.56	11.40	11.49	0.75	0.08
Acetate:propionate ratio	1.73	1.62	1.47	1.35	0.071	<0.01

EXPERIMENTO 2

Running title: Zeolite inclusion in finishing diets to feedlot lambs

Impact of dietary inclusion of clinoptilolite on substitution of soybean meal on growth performance, dietary energetics and carcass traits in feedlot ewes fed a corn-based diet

Impacto de la inclusión de clinoptilolita en sustitución de pasta de soya sobre el rendimiento productivo, la energética de la dieta y las características de la canal en ovejas alimentadas con una dieta a base de maíz

Short communication

Alfredo Estrada-Angulo¹, Jesús D. Urías-Estrada², Beatriz I. Castro-Pérez¹, Germán Contreras-Pérez¹, Claudio Angulo-Montoya¹, Alberto Barreras², María A. López-Soto², José A. Olivas-Valdez², and Alejandro Plascencia²¹

¹*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel s/n; Fraccionamiento San Benito 80246, Culiacán, Sinaloa, México.*

²*Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California. Km 4.5 carretera Mexicali-San Felipe, CP 21386, Mexicali, Baja California, México*

Aceptado en: Austral Journal of Veterinary Sciences

¹ Corresponding author: A Plascencia; Carretera Mexicali-San Felipe Km 3.5, Fracc. Campestre, CP 21386, Mexicali, B.C. México; aplas_99@yahoo.com , alejandro.plascencia@uabc.edu.mx .

ABSTRACT. Forty ewes (31.725 ± 1.44 kg initial LW) were used to evaluate the effects of clinoptilolite (ZEOL) supplementation (0, 1, 2, and 3%, DM basis of diet) in substitution of soybean meal (SBM) on a finishing corn-based diet on growth performance, dietary energetics, and carcass traits. The experiment lasted 56 days. For each percentage of substitution of SBM by ZEOL, the crude protein and net energy (NE) of basal diet were decreased in 0.37 percentage units and 0.02 Mcal/kg, respectively. There were no treatment effects ($P > 0.27$) on average daily gain (ADG), dry matter intake (DMI), and gain efficiency (ADG/DMI). Dietary NE was not affected by ZEOL supplementation ($P \geq 0.69$). However, due to the inertness (it does not provide energy) of ZEOL, itself, the ratio of observed-to-expected dietary NE linearly increased ($P = 0.02$) and the ratio of observed-to-expected DMI linearly decreased ($P = 0.02$) with ZEOL supplementation. Clinoptilolite supplementation linearly decreased fat thickness ($P = 0.02$) and visceral fat ($P = 0.03$) with no effects ($P \geq 0.12$) on other carcass measures or the organ tissue weights (as proportion of g/kg of empty body weight). Dilution of CP and dietary NE by substitution of SBM by zeolite up to 3% did not negatively affect growth performance and carcass traits. This result shown that, inclusion up to 3% of clinoptilolite in substitution of a high protein source (SBM) on finishing diets had a positive effect on the utilization of dietary energy.

Key words: clay, lambs, efficiency, visceral mass, finishing.

RESUMEN: Se utilizaron 40 ovejas (31.725 ± 1.44 kg PV inicial) para evaluar la suplementación (0, 1, 2 y 3%, en base seca de la dieta) de clinoptilolita (ZEOL) en sustitución de la harina de soya (SBM) en un dieta de finalización a base de maíz sobre el crecimiento, el balance energético de la dieta y las características de la canal. El experimento duró 56 días. Para cada porcentaje de sustitución de SBM por ZEOL, la proteína cruda y la energía neta (EN) de la dieta basal se redujo en 0.37 unidades porcentuales y 0.02 Mcal/kg, respectivamente. No hubo efecto de los tratamientos sobre la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo de materia seca (CMS) o la eficiencia alimenticia (GDP/CMS). La EN de la dieta no se vio afectada por la administración de ZEOL, pero debido a la característica inerte de ZEOL, la relación de EN dietética

observada-a-esperado aumentó linealmente y la proporción de observado-a-esperado del CMS disminuyó con la suplementación ZEOL. La clinoptilolita disminuyó linealmente el espesor de la grasa y la grasa visceral, sin efectos sobre otras medidas de la canal o sobre el peso de los órganos (como proporción de g/kg de peso corporal vacío). La sustitución de SBM por zeolita hasta un 3% no afectó negativamente el crecimiento y las características de la canal, resultando que la inclusión de hasta 3% de clinoptilolita en sustitución de una fuente de alta proteína (SBM) en dietas de acabado tuvo un efecto positivo sobre la utilización de energía de la dieta.

Palabras clave: arcillas, corderos, eficiencia, masa visceral, finalización.

INTRODUCTION

Zeolites are a family of minerals of volcanic origin that are composed of crystalline aluminosilicates. Clinoptilolite is the most abundant natural zeolite. Its dimensional structure is characterized by an ability to lose and gain water reversibly and to exchange cations without major change of their structure (Trckova *et al* 2011). Because of its characteristic sorbent properties that modifies ruminal fluid viscosity (Spotti *et al* 2005), and binding capacity with $\text{NH}_3\text{-N}$, clinoptilolite may have application as a feed additive in ruminant nutrition (Mumpton and Fishman 1977). In several studies (Pond 1984; Ghaemnia *et al* 2010), effects of clinoptilolite supplementation resulted in positive responses on growth performance. Whereas in others, no effects, or even negative effects were observed (Gaylean and Chabott 1981; Pond 1989). Inconsistencies in response to supplementation could be attributed to factors such as level of supplementation (McColumm and Galyean 1983), method of addition (by substitution for one or more ingredients in diet that change chemical composition between controls and zeolite diets (Câmara *et al.*, 2012), or by type of diet (forage level, degradable intake protein level; Pond 1984,1989). Limited information is available about of role of clinoptilolite on growth performance and carcass characteristics of ruminant fed with a high-energy finishing diet (McColumm and Galyean 1983). The objective of this experiment was to evaluate the influence of level of

clinoptilolite supplementation in substitution of soybean meal on growth-performance, dietary energy, and carcass traits of feedlot ewes fed a corn-based finishing diet.

MATERIALS AND METHODS

This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit, located in the Culiacán, México (24° 46' 13" N and 107° 21' 14" W). Culiacán is 55 m above sea level, and has a tropical climate. All animal management procedures were conducted within the guidelines of locally approved techniques (Mexican Official Rules, NOM-025, 033 and 051-ZOO-1995) for animal use and care. Forty ewes ($\frac{1}{4}$ Pelibuey $\times$ $\frac{3}{4}$ Katahdin, 31.73 ± 1.44 kg initial LW) were used in a randomized complete block design to evaluate the effects of treatments. Three weeks before the starting of the experiment, ewes were treated for endoparasites (Albendaphorte 10%, Animal Health and Welfare, México City, México), injected with 1×10^6 IU vitamin A (Synt-ADE®, Fort Dodge, Animal Health, México City, México), and vaccinated for *Mannheimia haemolytica* (One shot Pfizer, México City, Mexico). Two weeks before starting of the study all ewes were fed the same basal diet (no clinoptilolite supplementation, Table 1). Upon starting of the experiment, ewes were weighed individually prior to the morning (08:00 h) meal (electronic scale; TORREY TIL/S: 107 2691, TORREY electronics Inc., Houston, TX, USA), blocked by weight into five uniform weight groupings and assigned within weight grouping to 20 pens (2 ewe/pen, 5 pen/treatment). Pens were 6 m² with overhead shade, automatic waterers and 1 m fence-line feed bunks. Dietary treatments consisted in a dry-rolled-corn-based finishing diet supplemented with either 0, 1, 2, or 3% of clinoptilolite (ZEOL). These levels were selected to reflect the range in supplementation of ZEOL used in prior research wherein positive responses were observed (Pond 1984; Trckova *et al.*, 2004). In addition, because one of properties of zeolites is their ability to binding with NH₃-N that favour the ruminal N retention, we decided that the zeolite inclusion was carried out by replace of a high-protein ingredient in diet (SBM). The source of ZEOL used was clinoptilolite-Ca (ZEO-SIL; Grupo TCDN, Puebla, México). Supplemental ZEOL replaced soybean meal (SBM) in the basal diet. The physicochemical composition of SBM replaced by

ZEOL is shown in the footnote of Table 1. Dietary treatments were randomly assigned to ewes within weight groupings. The experiment lasted 56 days and ewes were weighed at the beginning of the trial and every 28 days thereafter. The initial live weight (LW) was converted to shrunk body weight (SBW) by multiplying the weight by 0.96 to adjust for the gastrointestinal fill (NRC 2007) and all ewes were fasted (drinking water was not withdrawn) for 18 hours before recording the final LW. Ewes were allowed *ad libitum* access to dietary treatments. In order to determine the feed intake on a daily basis, the ewes were fed twice daily at 08:00 and 14:00 h, the feed bunks were revised 10 min before the morning feed was offered, then the refusals were collected and weighed. To maintain a minimal feed refusals, adjustments of daily feed delivery, were provided at the afternoon feeding. The feed and refusal samples were collected daily for DM analysis, which involved oven-drying the samples at 105°C until no further weight loss occurred (AOAC 2000). Complete mixed diets and refusals were subjected to the following analyses: Dry matter (DM, oven drying at 105°C until no further weight loss; method 930.15, AOAC 2000); crude protein (CP, N× 6.25, method 984.13, AOAC 2000); ash (method 942.05, AOAC 2000); NDF [Van Soest et al., 1991, corrected for NDF-ash, incorporating heat stable α -amylase (Ankom Technology, Macedon, NY) at 1mL per 100mL of NDF solution (Midland Scientific, Omaha, NE)]; acid detergent fiber (ADF, residuals direct sulphuric acid method; method 973.18, AOAC 2000), and ether extract (method 920.39; AOAC 2000).

All ewes were slaughtered on the same day. After sacrifice, ewes were skinned, and the gastrointestinal organs were separated and weighed. Carcasses (with kidneys and internal fat included) were chilled in a cooler at -2 °C to 1 °C for 48 h, then the following measurements were obtained: 1) fat thickness perpendicular to the *m. longissimus thoracis* (LM), measured over the center of the rib eye between the 12th and 13th rib; 2) LM surface area, measure using a grid reading of the cross sectional area of the rib eye between 12th and 13th rib, and 3) kidney, pelvic and heart fat (KPH). The KPH was removed manually from the carcass, and then weighed and reported as a percentage of the cold carcass weight (USDA 1982). Each carcass was split along the vertebrae into two halves. Shoulders were obtained from the forequarter. The procedures

for obtaining shoulders and the measurement of its composition, as well as the dissection of organs and the estimation of visceral organ mass was following the procedures described by Rios-Rincon *et al* (2010).

The estimations of performance, expected dry matter intake (DMI), and dietary energetic were calculated based on SBW. Average daily gains (ADG) were estimated as follows: (Initial SBW- final SBW)/56. Feed efficiency was calculated as ADG/DMI. Expected DMI was determined based on observed ADG and average SBW according to the following equation: expected DMI, kg/d = (EM/NE_m) + (EG/NE_g), where EM (energy required for maintenance, Mcal/d) = 0.056×SBW^{0.75} (NRC 1985), EG (energy gain, Mcal/d) = 0.276× ADG × SBW^{0.75} (NRC 1985), and NE_m (dietary net energy of maintenance) and NE_g (dietary net energy of gain) are 1.94 and 1.29; 1.92 and 1.28; 1.90 and 1.26, and 1.88 and 1.25 Mcal/kg, for 0, 1, 2, and 3% ZEOL, respectively [derived from tabular values (NRC 2007) based on the ingredient composition of the experimental diets (Table 1)]. The coefficient (0.276) was estimated assuming a mature weight of 113 kg for Pelibuey × Katahdin crosses (Estrada-Angulo *et al* 2013). Observed dietary NE was estimated by of the quadratic formula: $x = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$, where $x = \text{NE}_m$, Mcal/kg, $a = -0.41\text{EM}$, $b = 0.877\text{EM} + 0.41\text{DMI} + \text{EG}$, $c = -0.877\text{DMI}$, and $\text{NE}_g = 0.877\text{NE}_m - 0.41$ (Estrada-Angulo *et al* 2013). The chemical composition of SBM used in the trial, and the complete mixed diets were determined following the procedures of AOAC (2000).

Performance (DMI, gain, gain efficiency, observed dietary NE, observed-to-expected dietary NE ratio, and observed-to-expected DMI ratio) and carcass data were analyzed as a randomized complete block design considered the pen as the experimental unit (n= 5 repetitions/treatment). The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was used to analyze the variables. Shoulder composition was analyzed as a general complete block design, including the effect of block × treatment interaction, together with the effect of CCW as covariate. When the covariate represented a non-significant (P>0.05) source of variation it was not included into the model. The analysis was realized using the MIXED procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Relative visceral organ

mass data were analyzed as a general complete block design, including the effect of block $\times$ treatment interaction considering ewe as experimental unit (n=10 observations/treatment). The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was used to analyze the variables. Treatment effects were tested for linear, quadratic and cubic components of the ZEOL supplementation level. Orthogonal polynomials were considered significant when the P-value was ≤ 0.05 , and tendencies were identified when the P-value was >0.05 and ≤ 0.10 .

RESULTS AND DISCUSSIONS

Cubic effects was not significant ($P \geq 0.10$). Thus, the P-values for this component are not presented in the tables.

The zeolite used in this experiment (San Juan Raya deposit, Puebla region; Grupo TCDN, Puebla, México), was comprised (g/kg of product) of SiO₂ (662), Al₂O₃ (146), and CaO (27.3), in good agreement with tabular mineral composition of natural zeolite (clinoptilolite-Ca) reported by EFSA (2013).

The effects of ZEOL supplementation on 56-d feedlot growth-performance of ewes are shown in Table 2. There were no treatment effects ($P > 0.27$) on daily gain, dry matter intake, and gain efficiency (ADG/DMI). Effects of ZEOL inclusion on DMI and ADG in growing-finishing ruminants has not been consistent (i.e. negative effects on feed efficiency of lambs was noted by Pond *et al* 1989 when ZEOL replaced ground corn since 2% of a finishing diet), but similar to our results (McColumm and Galyean 1983), ZEOL supplementation up to 2.5% did not affect ADG, or gain efficiency in feedlot steers fed a finishing diet.

Even though diets were diluted with ZEOL inclusion, the observed dietary NE was not affected by ZEOL supplementation ($P \geq 0.69$). Thus, the ratio of observed-to-expected dietary net energy linearly increased ($P=0.02$) and the ratio of observed-to-expected DMI linearly decreased ($P =0.02$) with ZEOL supplementation. Across the entire 56-day period, the average observed-to-expected DMI of ewes fed the reference diet was 99% of the expected value, based on tabular (NRC 2007) estimates of diet energy density and observed SBW and ADG values (Table 2), which supports the suitability of the prediction equations proposed by the NRC (1985) for the estimation of DMI in relation

to SBW and ADG in feedlot lambs. On the other hand, the NE_m (Mcal/kg) of the diets can be estimated from chemical analyses using the following equation (adapted from NRC [1984] using all feedstuffs with an $NE_m \geq 1.70$ and for which all pertinent analyses are tabulated excluding fat, which was assigned a NE_m value of 6.00; $R^2 = 0.97$, $N=36$) (Zinn and Plascencia 1993): $0.0255ADF + 0.0325CP + 0.0704EE + 0.034NFE - 1.18$, where nutrient concentration are expressed as g/100g, EE is ether extract and NFE (nitrogen free extract) is equivalent to $100 - (ADF + CP + EE + \text{ash})$. By applying the above equation to the chemical composition determined by analyses for the experimental diets (Table 1), the net energy values of diets were 2.00, 1.97, 1.93 and 1.90 Mcal EN_m /kg (averaging 1.95). This estimate is in good (102%) agreement with the estimated NE value based on tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (Table 1, NRC 2007). The above supports that the comparison between observed to expect performed here is valid.

We expect that dietary NE ratio (observed-to-expected) would be to 1.0 [this mean that animals were performed as expected. Or stated differently, animal performance is consistent with DMI and dietary energy density (NRC 2007)]. If ratio is greater than 1, the observed dietary NE represent a greater value (concentration) than expected according to NRC (2007), therefore the energy was better utilized by the animal, thus, the efficiency was improved. In contrast, if ratio is less than 1, energetic efficiency was less than expected (contrary to the observed:expected DMI in which values greater than 1 represent lower efficiencies). The basis for the increases on energy utilization to ZEOL supplementation observed in the present experiment is uncertain. A few studies revealed that ruminants that were fed zeolites had better utilization of N compounds (Ghaemnia *et al* 2010) and/or greater utilization of digestible energy (Stojković *et al.* 2012), or by a more efficient ruminal fermentation (McColumm and Galyean 1983).

The effects of ZEOL supplementation on carcass characteristics, tissue composition and organ mass are shown in Tables 3 and 4. Clinoptilolite supplementation linearly decreased fat thickness ($P = 0.02$) and visceral fat ($P = 0.03$) with no effects ($P \geq$

0.12) on other carcass measures or the organ tissue weights (as proportion of g/kg of empty body weight). Absence of effects of ZEOL supplementation on HCW, dressing, LM are a common results in finishing ruminants (McColumm and Galyean 1983; Pond 1984).

As expected (based on a similar daily gains, Mahgoub *et al* 2000), tissue composition was not affected by treatments. Decreases on fat thickness as result of ZEOL inclusion in finishing lambs was reported previously (Forouzani *et al* 2004). The reduction of some body fat depots (fat thickness, visceral fat) could be by a reduction of energy density of diet by dilution effect of ZEOL. In lambs, there is very limited information related to the effects of supplementation of ZEOL on organ weights. It has been argued that ZEOL essentially is not absorbed and is excreted with the feces (EFSA 2013). Because of its density, it is reasonable that the clay particles would accumulate along the digestive tract, particularly in the forestomach regions. However, this potential effect was not was reflected on relative organ weight in this experiment.

It was concluded that dilution of CP and dietary NE by substitution of SBM by zeolite up to 3% did not negatively affect growth performance and carcass traits. This result shown that, the inclusion up to 3% of clinoptilolite in substitution of a high protein feed (SBM) on finishing diets had a positive effect on the utilization of dietary energy.

REFERENCES

- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD.
- Câmara LRA, SC Valadares, MI Leão, RFD Valadares, M Dias, APC Gomide, ACW Barros, VA Nascimento, DJ Ferreira, JT Faé, C Carneiro, LL Cardoso. 2012. Zeolite in the diet of beef cattle (in Portuguese). *Arq Bras Med Vet Zoot* 64, 631-639.
- EFSA. 2013. *Scientific Opinion on the safety and efficacy of clinoptilolite of sedimentary origin for all animal species*. European Food Safety Authority. EFSA Journal 11, 3039-3052.

- Estrada-Angulo A, YS Valdés, O Carrillo-Muro, BI Castro-Pérez, A Barreras, MA López-Soto, A Plascencia, H Dávila-Ramos, FG Ríos, RA Zinn. 2013. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. *Anim Prod Sci* 53, 308-315.
- Galyean ML, RC Chabot. 1981. Effect of sodium bentonite, buffer salts, cement kiln dust and clinoptilolite and rumen characteristics in beef steers fed a high roughage diet. *J Anim Sci* 52, 1197-1204.
- Forouzani R, E Rowghani, JM Zamari. 2004. The effect of zeolite on digestibility and feedlot performance of Mehraban male lambs given a diet containing urea-treated maize silage. *Anim Sci* 78, 179-184.
- Ghaemnia L, M Bojarpour, KH Mirzadeh, M Chaji, M Eslami. 2010. Effect of different levels of zeolite on digestibility and some blood parameters in Arabic lambs. *J Anim Vet Adv* 9, 779-781.
- Mahgoub O, CD Lu, RJ Early. 2000. Effects of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. *Small Rum Res* 37, 35-42.
- McCollum FT, ML Galyean ML. 1983. Effects of clinoptilolite on rumen fermentation, digestion and feedlot performance in beef steers fed high concentrate diets. *J Anim Sci* 56, 517-524.
- Mumpton FA, PH Fishman. 1977. The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. *J Anim Sci* 45, 1188-1202.
- NRC. 1985. National research Council. *Nutrient requirement of sheep*. 6th Rev. edn. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- NRC. 2007. National research Council. *Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- Pond WG. 1984. Response of growing lambs to clinoptilolite or zeolite NAA added to corn, corn-fish meal and corn-soybean meal diets. *J Anim Sci* 59, 1320-1328.

- Pond WG.1989. Effects of dietary protein level and clinoptilolite on the weight gain and liver mineral response of growing lambs to copper supplementation. *J Anim Sci* 67, 2772-2781.
- Ríos Rincón FG, A Barreras-Serrano, A Estrada-Angulo, JF Obregón, A Plascencia-Jorquera, JJ Portillo-Loera, RA Zinn. 2010. Effect of level of dietary zilpaterol hydrochloride (β_2 -agonist) on performance, carcass characteristics and visceral organ mass in hairy lambs fed all-concentrate diets. *J Appl Anim Res* 38,33-38.
- SAS, statistical Analysis System. 2004. *SAS version 9.0*. SAS Institute Inc., Cary, NC.USA.
- Spotti M, ML Fracchiola, F Arioli, F Canoni, G Pompa. 2005. Aflatoxin B₁ binding to sorbents in bovine ruminal fluid. *Vet Res Commun* 29, 507-515.
- Stojković J, Z Ilić, S Ćirić, B Ristanović, MP Petrović, V Caro, Petrović, V Kurčubić.2012. *Biotechnol Anim Husbandry* 28, 545-552.
- Trckova M, L Matlova, L Dvorska, I Pavlik. 2004. Kaolin, bentonite and zeolites as feed supplements for animals: health advantages and risks. *Vet Med Czech* 49, 389-399.
- USDA. 1982. *Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses*. Agriculture Marketing Service, USA.
- Van Soest PJ, JB Robertson, BA Lewis. 1991. *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition*. *J Dairy Sci* 74, 3583–3597.
- Zinn RA, A Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J Anim Sci* 71,11-17.

Table 1. Ingredients and composition of experimental diets.**Cuadro 1.** Ingredientes y composición de las dietas experimentales¹.

Item	Clinoptilolite level, % of DM ²			
	0	1	2	3
Ingredient composition, % DMB				
Cracked corn	36.00	36.00	36.00	36.00
Dry distillers grain with solubles	28.00	28.00	28.00	28.00
Soybean meal ³	7.00	6.00	5.00	4.00
Alfalfa hay	10.00	10.00	10.00	10.00
Sudangrass hay	10.00	10.00	10.00	10.00
Cane molasses	7.50	7.50	7.50	7.50
Trace mineral salt ⁴	1.50	1.50	1.50	1.50
Clinoptilolite	0.00	1.00	2.00	3.00
Net energy concentration ⁵ , Mcal/kg of DM basis				
EN _m , Mcal/kg	1.94	1.92	1.90	1.88
EN _g , Mcal/kg	1.29	1.28	1.26	1.25
Nutrient composition, % of DM ⁶				
Crude protein	16.46	16.02	15.78	15.35
NDF	21.91	21.75	21.60	21.45
ADF	8.55	8.35	8.28	8.02
Ether extract	4.11	4.03	4.00	3.96
Ash	7.94	8.96	10.02	10.88
Calcium	0.81	0.81	0.82	0.83
Phosphorus	0.61	0.61	0.61	0.61

¹Cost of diets (US dollars/kg) were: \$2.64 2.59, 2.54 and 2.50 for 0,1, 2, and 3% of clinoptilolite inclusion, respectively, ² Calcium clinoptilolite (Zeo-Sil, Grupo TCDN, Puebla, Puebla), ³ Composition of SBM were (%): 91.7 DM; 92.5 OM; 48.4 CP; 12.1 NDF, and 2.8% ether extract, ⁴Trace mineral salt contained: CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%, KI 0.052%; and NaCl, 92.96%, ⁵Based on tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC 2007), ⁶ Dietary composition was determined by analyzing subsamples collected and composited throughout the experiment. Accuracy was ensured by adequate replication with acceptance of mean values that were within 5% of each other.

Table 2. Influence of supplementation clinoptilolite level on growth performance and dietary energetics.
Cuadro2. Influencia del nivel de suplementación de clinoptilolita sobre el crecimiento y energética de la dieta.

Item	Clinoptilolite, % in diet DM				SEM ²	Contrast <i>P</i> -value ¹	
	0	1	2	3		L	Q
Pens replicates	5	5	5	5			
Days on feed	56	56	56	56			
Weight, kg ³							
Initial	31.67	31.67	31.75	31.82	0.305	0.35	0.44
Final	42.53	42.93	43.62	42.80	0.520	0.59	0.30
Dry matter intake, kg	1.053	1.034	1.103	0.996	0.040	0.58	0.29
ADG, kg/d	0.194	0.201	0.212	0.196	0.010	0.67	0.27
Gain for feed, kg/kg	0.184	0.189	0.193	0.192	0.006	0.30	0.64
Dietary net energy, Mcal/kg							
Maintenance	1.924	1.953	1.958	1.994	0.029	0.15	0.90
Gain	1.278	1.303	1.307	1.338	0.026	0.15	0.90
Observed to expected dietary ratio							
Maintenance	0.992	1.017	1.030	1.060	0.016	0.02	0.88
Gain	0.990	1.018	1.037	1.071	0.025	0.02	0.88
Observed-to-expected daily DM intake ⁴	0.998	0.975	0.957	0.928	0.017	0.02	0.87

¹ *P* = observed significance level for linear and quadratic effect of supplementation level of ZEOL. Since cubic effects were not significant (*P*>0.10) the *P*-values for those components are not presented in the tables, ² SEM, standard error of mean,

³ Initial weight was reduced 4% to account for fill, and all ewes were fasted (food but not drinking water was withdrawing) for 18 h before recording the final BW, ⁴ Expected DMI was computed as follows: DMI, kg/d = (EM/NE_m) + (EG/NE_g), where EM=maintenance coefficient of 0.056 Mcal/LW^{0.75} (NRC 1985) and EG is the daily energy deposited (Mcal/d) estimated by equation: EG =0.276×ADG×SBW^{0.75}; NRC 1985. The divisor NE_m and NE_g are the NE of each diet (calculated from tables of composition of feed; NRC 2007).

Table 3. Treatment effects on carcass characteristics and shoulder tissue composition.
Cuadro 3. Efecto de los tratamientos sobre las características de la canal y composición tisular de la paleta.

Item	Clinoptilolite, % in diet DM				SEM ²	P value ¹	
	0	1	2	3		L	Q
Pens replicates	5	5	5	5			
Hot carcass weight (kg)	24.89	25.28	26.08	24.96	0.52	0.74	0.19
Dressing percentage	58.53	58.88	59.78	58.31	0.97	0.96	0.37
Cold carcass weight (kg)	24.41	24.87	25.84	24.71	0.60	0.99	0.22
LM area (cm ²)	18.15	17.35	17.40	17.56	0.56	0.77	0.56
Fat thickness (cm)	0.56	0.57	0.45	0.45	0.033	0.02	0.93
Kidney pelvic and heart fat (%)	4.15	3.79	3.69	3.99	0.43	0.78	0.47
Shoulder weight (kg)	2.432	2.375	2.364	2.320	0.072	0.31	0.94
Shoulder composition (%)							
Muscle	64.99	64.36	65.33	65.06	0.496	0.61	0.72
Fat	18.04	18.46	17.93	17.63	0.855	0.66	0.68
Bone	16.96	17.16	16.74	17.29	0.694	0.86	0.81
Muscle to fat ratio	3.60	3.52	3.65	3.74	0.192	0.57	0.68
Muscle to bone ratio	3.86	3.76	3.92	3.78	0.158	0.93	0.91

¹ P = observed significance level for linear and quadratic effect of supplementation level of ZEOL. Since cubic effects were not significant (P>0.10) the P-values for those components are not presented in the tables, ² SEM, standard error of mean.

Table 4. Treatment effects on relative visceral organ weight (n=10 observations/treatment).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos sobre el peso relativo de las vísceras (n=10 observaciones/tratamiento).

Item	0	Clinoptilolite, % in diet DM			SEM ²	P value ¹	
		1	2	3		L	Q
GIT fill (kg) ³	3.16	3.10	3.29	3.08	0.24	0.97	0.75
Empty body weight, kg	39.36	39.82	40.32	39.71	0.69	0.36	0.44
Empty body weight (% of full weight)	92.55	92.75	92.46	92.78	0.59	0.90	0.90
Full viscera (kg) ⁴	7.40	7.63	7.69	7.56	0.24	0.64	0.78
Organs (g/kg, empty body weight)							
Stomach complex ⁵	28.06	28.86	28.96	28.08	0.66	0.87	0.45
Intestines ⁶	48.51	48.15	49.45	48.57	1.82	0.86	0.69
Liver/spleen	19.04	18.56	18.58	17.41	0.60	0.12	0.80
Heart/lungs	18.79	19.27	20.10	20.26	0.91	0.23	0.87
Visceral fat	43.83	42.25	40.16	36.62	1.57	0.03	0.54

¹ P = observed significance level for linear and quadratic effect of supplementation level of ZEOL. Since cubic effects were not significant (P>0.10) the P-values for those components are not presented in the tables, ²SEM, standard error of mean, ³GTI, gastrointestinal tract, ⁴ Full viscera= full viscera mass = (stomach complex + small intestine + large intestine + liver + lungs + heart) including digesta, ⁵Stomach complex = (rumen + reticulum + omasum + abomasums), without digesta, ⁶Without digesta.