

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio en Ciencias Agropecuarias
Doctorado en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

Influencia de la Inclusión de Zeolita (clinoptilolita) en Dietas de Finalización Sobre la Respuesta Productiva, Características de la Canal y Composición Tisular de Ovinos de Pelo

**Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:
FRANCISCO CORONEL BURGOS**

DIRECTOR DE TESIS:
DR. Alfredo Estrada Angulo

CO-DIRECTOR DE TESIS:
DR. Alejandro Plascencia Jorquera

Culiacán, Sinaloa, México; a octubre de 2017

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **FRANCISCO CORONEL BURGOS**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

(SELLO DE POSGRADO)

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR

DR. ALFREDO ESTRADA ANGULO

CO-DIRECTOR

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

ASESOR

DRA. BEATRIZ ISABEL CASTRO PEREZ

ASESOR

DR. FRANCISCO GERARDO RIOS RINCON

ASESOR

DR. GERMAN CONTRERAS PEREZ

Culiacán, Sinaloa a octubre de 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de CULIACAN, SINALOA el día 15 del mes DE JULIO del año 2021, el (la) que suscribe **FRANCISCO CORONEL BURGOS** alumno (a) del Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS con número de **cuenta: 9052185-4** de la Unidad Académica: FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de DR. ALFREDO ESTRADA ANGULO y de acuerdo al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor, cede los derechos del trabajo intitulado: **"INFLUENCIA DE LA INCLUSION DE ZEOLITA (clinoptilolita) EN DIETAS DE FINALIZACION SOBR LA RESPUESAT PRODUCTIVA, CARACTERISTICAS DE LA CANALY COMPOSICION TISULAR DE OVINOS DE PELO"**, a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación, la que será titular del mismo, en forma conjunta o separada con el autor.

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de ésta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sera objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

En apego al Art. 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor Cedo el derecho de publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación a la Universidad Autónoma de Sinaloa.

DR. FRANCISCO CORONEL BURGOS



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

CONTENIDO	Página
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE FIGURAS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISION DE LITERATURA	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1.2.1. Las zeolitas naturales y sus generalidades.....	4
1.2.2. Zeolitas naturales en México.....	6
1.2.3. Particularidades de las zeolitas naturales.....	9
1.2.4. Estructura físico química de las zeolitas naturales.....	11
1.2.5. Usos diversos de las zeolitas naturales.....	12
1.2.6. Las zeolitas naturales en la agricultura.....	16
1.2.7. Las zeolitas naturales en humanos.....	18
1.2.8. Acción de las zeolitas naturales sobre la fisiología Digestiva.....	20
1.2.9. Alimentación de monogástricos con zeolitas naturales.....	21
1.2.9.1. Aves.....	21
1.2.9.2. Cerdos.....	22
1.2.10. Alimentación de rumiantes con zeolitas naturales.....	27
1.2.10.1 Influencia sobre la fermentación ruminal.....	27
1.2.10.2 Influencia sobre el comportamiento productivo	29
1.2.11. Influencia de las zeolitas sobre la digestibilidad de la dieta	32
1.2.12. Influencia sobre los componentes dietarios en rumiantes	34
1.3. CONCLUSION	
CAPITULO 2. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE ZEOLITA (CLINOPTILOLITA) EN OVINOS EN ETAPA DE FINALIZACIÓN: RESPUESTA PRODUCTIVA Y ENERGÉTICA DE LA DIETA	37
2.1. RESUMEN.....	38
2.2. ABSTRACT.....	39

2.3. INTRODUCCIÓN.....	40
2.4. MATERIAL Y MÉTODOS	41
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
2.6. CONCLUSIÓN.....	47
2.7. LITERATURA CITADA.....	48
CAPÍTULO 3. INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL MAÍZ Y DELA PASTA DE SOJA POR ZEOLITA EN OVINOS EN ETAPA DE FINALIZACIÓN: CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL, COMPOSICIÓN TISULAR Y MASA VISCERAL.....	55
2.1. RESUMEN.....	56
2.2. ABSTRACT.....	57
2.3. INTRODUCCIÓN.....	58
2.4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	59
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
2.6. CONCLUSIÓN.....	64
2.7. LITERATURA CITADA.....	65
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES.....	72
CAPITULO 5. LITERATURA CITADA.....	73

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Características de los canales y sitios en la clinoptilolita	9
2	Efectividad del producto enterex ¹ en la terapia de pacientes con diarrea.....	19
3	Comportamiento productivo de cerdos alimentados con dietas suplementadas con diferentes niveles de zeolita en tres etapas de producción	25
4	Concentración de metabolitos sanguíneos de cerdos alimentados con diferentes niveles de zeolitas en tres etapas de producción.....	26
5	Concentración de glucosa y urea en plasma.....	29
6	Efecto de la zeolita en la composición de la leche.....	31
7	Efecto de los tratamientos dietarios sobre la digestibilidad de nutrientes.....	33
8	Ingredientes y composición de las dietas experimentales.....	53
9	Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre el rendimiento productivo y utilización aparente de la energía neta de la dieta.....	54
10	Ingredientes y composición química de las dietas utilizadas.....	68
11	Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre las características de la canal y composición tisular en ovinos de pelo.....	69
12	Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre los cortes primarios (g/100 g de peso de canal fría).....	70
13	Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre la masa viscerales.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Cristales de zeolita (imágenes de microscopio).....	5
2	Lugar donde se informó de la existencia de zeolitas en México por primera vez.....	6
3	Representación esquemática del arreglo de los canales en la clinoptilolita.....	7
4	Estructura de la clinoptilolita	8
5	Tetraedro, unidad fundamental de las zeolitas naturales.....	12
6	Agrupación de tetraedros formando anillos-6.....	12

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles (0, 1.5, 3 y 4.5%) de zeolita en dietas integrales de finalización sobre la respuesta productiva, características de la canal, cortes primarios y composición tisular de ovinos de pelo en finalización. Para lo anterior, se utilizaron 40 ovinos machos $\frac{3}{4}$ Kathadin \times $\frac{1}{4}$ Pelibuey con peso inicial de 32.28 ± 2.34 kg PV, los cuales se alimentaron durante 75 días con uno de 4 tratamientos. T1 Testigo (sin zeolita), 16.51 PC y 1.39 Mcal/kg EN_g, T2 1.5 %, 16.11 % de PC y 1.37 Mcal/kg EN_g, T3 3.0 %, 15.88% PC y 1.35 Mcal/kg EN_g y T4 4.5 %, 15.30 PC y 1.33 Mcal/kg EN_g. La inclusión de zeolita, disminuyó la concentración de PC en 0.11% y la energía neta 0.03 Mcal/kg. La disminución no afectó el consumo de materia seca, la ganancia diaria, la eficiencia alimenticia, la utilización de la energía neta de la dieta (EN observada/esperada) o la retención aparente de energía por unidad de MS consumida. Aumentar el nivel de suplementación de zeolita por encima del 1.5% incrementó la eficiencia alimenticia, la utilización de la energía neta de la dieta y la retención aparente de energía por unidad de MS consumida (4.5, 6.4 y 7.4%; respectivamente), la respuesta máxima al 3% de adición (componente cuadrático, $P < 0.01$). El 3% de inclusión de zeolita mejoró ($P < 0.01$) 6.8% la eficiencia alimenticia, 8.4% la energía neta utilizada de la dieta y 8.9% la retención aparente de energía por unidad de MS consumida. Similarmente, la inclusión de zeolita no afectó las características de la canal ($P = 0.10$), aumentó linealmente ($P \leq 0.04$) la cantidad y proporción de músculo, y disminuyó ($P = 0.02$) la cantidad y proporción de grasa en la paleta, aumentando (componente lineal, $P = 0.02$) la proporción músculo: grasa. Así mismo, aumento el peso del cuello (componente lineal $P = 0.05$), sin afectar el resto de los cortes primarios ($P \geq 0.30$). Al disminuir linealmente la grasa mesentérica ($P < 0.01$) y omental ($P = 0.03$) al adicionar zeolita en la dieta, la grasa visceral tendió ($P = 0.07$) a disminuir por el nivel de zeolita en la dieta. En conclusión, utilizar zeolita en dietas de finalización mejora la utilización de la energía neta, aumenta la proporción músculo: grasa y disminuye la proporción de grasa en la canal. En

general, la respuesta óptima observada en los corderos del presente estudio sucedió con 3% de inclusión de zeolita en la dieta.

Palabras clave. Ovinos de pelo, Zeolita, comportamiento productivo, características de la canal.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of different supplemental levels (0, 1.5, 3 and 4.5%) of zeolite in partial substitution of ground corn and soybean meal in a total mixed finishing diets on the productive response and on efficiency of using dietary net energy in hairy lambs. For this, 40 lambs were used, $\frac{3}{4}$ Kathadin \times $\frac{1}{4}$ Pelibuey with 32.28 ± 2.34 kg, were assigned to 20 pens (2 lambs/pen, 5 pens/treatment) and were feeding for 75 days with one of the four treatments. T1 Control diet (no supplemental zeolite) contained 16.51% CP and 1.39 Mcal NE_g/kg, T2 1.5 %, 16.11 % of CP and 1.37 Mcal/kg NE_g, T3 3.0 %, 15.88% CP and 1.35 Mcal/kg NE_g and T4 4.5 %, 15.30 CP and 1.33 Mcal/kg NE_g. The total quantity of zeolite included replaces corn and soybean meal in equal parts. For each level of which corn and soybean meal were substituted, CP concentration decreased 0.11 percentage points and net energy decreased 0.03 Mcal NE_g/kg. The partially replace of corn and soybean meal by zeolite to a level of 1.5% in the diet did not affect DM intake, daily gain, feed efficiency, dietary net energy (observed-to- expected diet NE) or the apparent energy retention per unit of dry matter intake (DMI). Increasing the level of zeolite supplementation above of 1.5%, increased feed efficiency, dietary net energy and apparent energy retention per unit of DMI averaging 4.5, 6.4 and 7.4%; respectively, being maximal response for inclusion level of 3% (quadratic component, $P < 0.01$). Compared with controls, the inclusion of 3% of zeolite to the diet improved ($P < 0.01$) 6.8% feed efficiency, 8.4% 64 dietary net energy, and 8.9% the apparent energy retention per unit of DMI. Similarly, the inclusion of zeolite did not affect the carcass characteristics ($P = 0.10$), linearly increased ($P \leq 0.04$) the amount and proportion of muscle, and decreased ($P = 0.02$) the amount and proportion of fat in the palette, increasing (linear component, $P = 0.02$) the ratio muscle: fat. Also increase, the weight of the neck (linear component $P = 0.05$), however, the rest of the cuts was not affected ($P \geq 0.30$). As a result of a linear decrease of mesenteric ($P < 0.01$) and omental fat ($P = 0.03$) by the inclusion of zeolite in the diet, visceral fat tended ($P = 0.07$) to decrease as the level of zeolite was increased in the diet. In conclusion, the use of zeolite improves the energy net use of the diet, improves the muscle: fat ratio and decreases the proportion of fat in the carcass. In general, in

accordance with the observed in the present study, the optimal response in lamb development, come about with 3% of zeolite inclusion in the diet.

Key words. Airy sheep, Zeolites, productive response and carcass characteristics.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos en la actualidad ha inducido al sector pecuario a la búsqueda de medidas que permitan aumentar la productividad de las explotaciones para intentar satisfacer la demanda generada por la población. El área través de la cual se intenta alcanzar tal propósito es hacer eficiente al máximo el comportamiento animal. Para lograr lo anterior, por muchos años se han añadido a la dieta animal aditivos alimenticios que han modificado las propiedades físicas del alimento o bien mejorado el aprovechamiento de los nutrientes que ingresan al organismo. Sin embargo, es necesario aclarar que los aditivos se valoran por la respuesta que inducen, más que por su propio valor nutritivo. Por lo tanto, como resultado de esa valoración, el empleo de sustancias tales como ionóforos, buffers, antibióticos, probióticos, o β -adrenérgicos como el clorhidrato de zilpaterol entre otros más, es rutinario en las dietas utilizadas en la empresa pecuaria tecnificada actual.

Bajo esta premisa, los programas de alimentación actuales exigen cada vez más la capacidad metabólica de los animales, retando su fisiológica natural, la que en muchos de los casos es rebasada por tal grado de exigencia dejándolos en desventaja en ciertos momentos. Para lo anterior, en muchos casos, se ha echado mano de las zeolitas naturales, las que en múltiples ocasiones han mostrado efectos positivos si de alimentación de rumiantes se trata, sobre todo en la utilización de los compuestos nitrogenados presentes en el alimento, sin que se haya observado disturbios en la salud o alteraciones el producto final. Este mineral se empezó a adicionar en la nutrición de animales desde mediados de 1960 en Japón, en un principio, con el fin de imitar los resultados logrados con las arcillas (Colella, 2011), las cuales habían mostrado (Quisenberry, 1968) en aves, disminución de la velocidad de tránsito del alimento a través del tracto digestivo, mejorando con ello la asimilación de nutrientes y la eficiencia calórica.

En rumiantes, tiempo después, Mumpton y Fishman (1977); McCollum y Galyean, (1983) comunicaron que la zeolita puede capturar hasta el 15% de los iones de amonio presentes en el inóculo del contenido ruminal y posteriormente

liberado al medio ambiente ruminal evitando bien disminuyendo la eliminación de la molécula en heces u orina. Otro estudio donde igualmente intervino la zeolita en proporción de 2% de la dieta de vacas lecheras, se apreció menor cantidad de cereales en las excretas (23.4% vs 12.7%), hecho que permite suponer sobre la posibilidad de mejor aprovechamiento de los componentes que integran la dieta, lo que de paso provocaría mayor disponibilidad de nutrientes para mejorar el desempeño animal (García et. al., 1992). Sin embargo, los resultados de alimentar rumiantes con zeolitas no han sido consistentes, en algunos estudios la adición de zeolita no ha tenido efectos positivos sobre la retención de nutrientes (Matthews et. al., 1999; Dschaak et. al., 2010) para esto, unas de las razones que podrían estar implicadas en tal inconsistencia según se ha sugerido, son el nivel de zeolita adicionado y la composición de la dieta utilizada.

Dado que no existen datos acerca de la utilización de la zeolita en las dietas de finalización para rumiantes, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles de zeolita (clinoptilolita), sobre la respuesta productiva, características de la canal, cortes primarios, composición tisular y parámetros metabólicos de rumiantes.

1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

Desde la aparición del hombre hasta que se produce la Revolución Neolítica, el aumento de la población fue lento. Sin embargo, con los procesos que trae consigo la Revolución Neolítica - sedentarización, agricultura, ganadería, explotación previsor de recursos, se produjo mayor crecimiento demográfico, llegando a 250 millones de personas a comienzos de nuestra era, para luego alcanzar 500 millones de personas a mediados del siglo XVII. No obstante, a partir del siglo XIX, la revolución industrial junto con la revolución agrícola producida en ese momento, sumado además a los avances médicos y de higiene, supusieron la desaparición de la mortalidad catastrófica en Europa Occidental, dando comienzo a la revolución demográfica, de tal modo que a principios del siglo XX la población era de 1.600 millones de personas; hasta llegar al día de hoy, que somos más de 6.000 millones de seres humanos en la Tierra (Arranz, 2010).

Tal dimensión de la población ha generado aumento en la demanda de alimentos de todo tipo (FAO, 2012), entre ellos, los de origen animal que ha propiciado en el sector pecuario la búsqueda de medidas que permitan aumentar la productividad de las explotaciones para intentar satisfacer la demanda. Para mejorar la productividad de los animales de abasto es necesario favorecer la velocidad en la deposición de tejidos. Para lo cual, desde hace tiempo se utilizan diferentes aditivos alimenticios que hacen más eficiente el proceso productivo de los animales (Castellanos-Ruelas y et. al., 2006; Hutjens, 2013).

Sin embargo, los productos cárnicos deben ser para ser comercializados. No obstante, algunos de estos compuestos por su naturaleza química enfrentan actualmente restricciones para su uso en la industria pecuaria de algunos países, otros incluso son prohibidos dentro de la ganadería de muchas regiones (Lawrence et. al., 2012); por lo que se hace necesario utilizar aditivos que no generen penalización al ser incluidos en las dietas de los animales de importancia zootécnica.

Para lo anterior, una posible solución es el uso de compuestos naturales como las zeolitas, las cuales bajo muchas circunstancias han demostrado su utilidad en varios eventos de la industria (Mumpton, 1999), la contaminación ambiental (Colella,

1999) y la alimentación animal (Quisenberry, 1968; Mumpton y Fishman, 1977; Mumpton, 1999).

1.2.1. Las zeolitas naturales y sus generalidades

Las zeolitas naturales son aluminosilicatos de álcali cristalinos hidratados de Na, K y Ca, este grupo mineral cuenta con casi 40 especies naturales (Ostrooumov, 2002; Olguín, 2005; Mumpton y Fishman, 1977). La estructura de las zeolitas se compone principalmente de tetraedros tridimensionales de AlO_4 y SiO_4 , interconectada por compartición de átomos de oxígeno formando canales y cavidades bien definidos, los cuales contienen moléculas de agua, cationes álcali como sodio, potasio, litio y cesio, además de cationes alcalino térreos (calcio, estroncio, bario y magnesio) (Alvarado-Ibarra et. al., 2013), tienen infinidad de aberturas, además son capaces de ganar o perder agua reversiblemente e intercambiar cationes (Mumpton, 1999), sus cavidades son voluminosas, comunicantes extremadamente grandes (Ostrooumov, 2002), de dimensiones moleculares (Hernández et. al., 2005). Las zeolitas naturales difieren unas de otras en el tamaño y la forma de sus poros y en la manera en que estos están interconectados; teóricamente la posibilidad para diferente armazón de la estructuras en las zeolitas es infinita, pues aparte de las 40 especies naturales ya reconocidas, más de 150 tipos han sido sintetizadas en laboratorio (Inglezakis y Zorpas, 2012).

La capacidad de su estructura interna va de 500 a 1000 m^2/g y su capacidad de intercambio catiónico es de 0 a 650 Meq / 100 g (Olguín, 2005). Las zeolitas naturales tienen grandes espacios vacíos dentro de su estructura capaces de acomodar grandes cationes como Na^+ , K^+ , Br^+ y Ca^{++} e incluso moléculas relativamente grandes y grupos catiónicos tales como agua, amoníaco e iones carbonato y nitrato (Pavelic y Hadzija, 2003). Este mineral aparece en forma natural en rocas volcánicas. Su estructura (Figura 1) se encuentra atravesada por infinidad de canales que hacen la función de tamiz, a la vez que determina, en gran medida, sus importantes propiedades como intercambiador catiónico en el proceso físico de la adsorción (Martínez et. al., 2004), que se ve aumentado cuando las zeolitas están deshidratadas. La deshidratación genera una excesiva carga negativa en su

esqueleto lo que provoca la existencia de una considerable energía de adsorción característica de los sustratos zeolíticos (Hernández et. al., 2005).

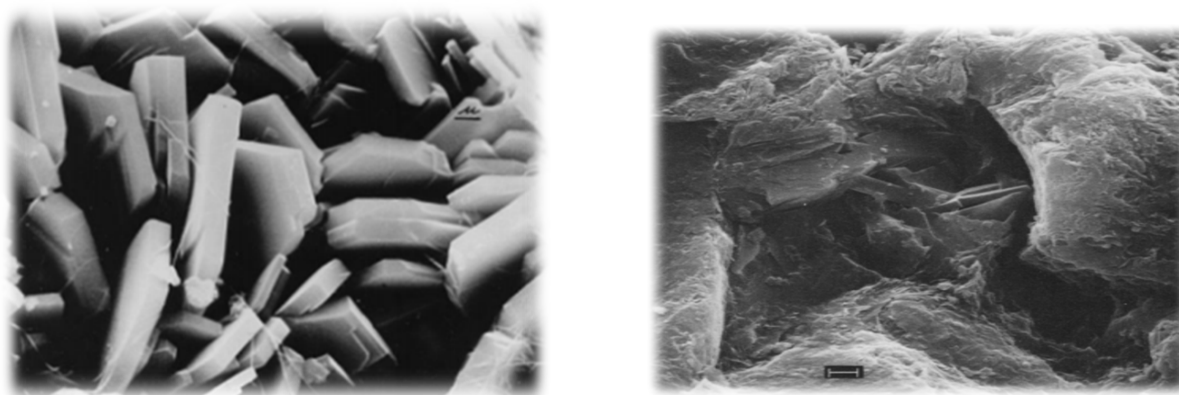


Figura 1. Cristales de zeolita (imágenes de microscopio)

Lo anterior, propicia la suficiente atracción para que ingresen y permanezcan en el interior de sus poros y canales distintos cationes y moléculas presentes en el medio, sin que esto implique cambio en la estructura de la zeolita (Inglezakis y Zorpas, 2012); en específico por esta propiedad, entre otras, es que las zeolitas son utilizadas ampliamente (Mumpton y Ormsby, 1976; Hulbert, 1987), y se reconocen entre los más importantes intercambiadores de cationes en la actualidad (Pavelic y Hadzija, 2003).

La primera especie mineral zeolítica natural descubierta fue la estilbita, cuyo hallazgo ocurrió en cavidades de roca basal en el año de 1756, llevado a cabo por el barón Axel Fredrick Cronstedten, quien nombró al nuevo material como zeolitas, nombre aún utilizado que deriva del griego *zeo*: hiervo y *lithos*, piedra, acuñado con base en la propiedad que estas muestran de perder agua y dar la apariencia de hervir al ser calentadas (Mumpton y Fishman 1977; Bosch y Schifter, 1988), proceso ahora conocido como “intumescencia” (Mumpton y Fishman 1977; Olgúin, 2005). Aunque las zeolitas se conocen desde 1756 como constituyentes menores en huecos y cavidades de roca basáltica, no fue hasta hace poco tiempo que han emergido como materiales con múltiples aplicaciones en procesos industriales (Mumpton y Ormsby, 1976), sin embargo, el primer experimento sobre separación de

una mezcla utilizando zeolita hidratada fue realizado a mediados del siglo pasado, en el año de 1945 (Pavón Silva et. al., 2001).

1.2.2. Zeolitas naturales en México

En México (Figura 2) se han encontrado depósitos importantes de zeolitas sedimentarias en las provincias geológicas de la sierra madre del sur, región a la que pertenece el estado mexicano de Oaxaca, donde se estima que existen 15, 120, 000 ton de este mineral.

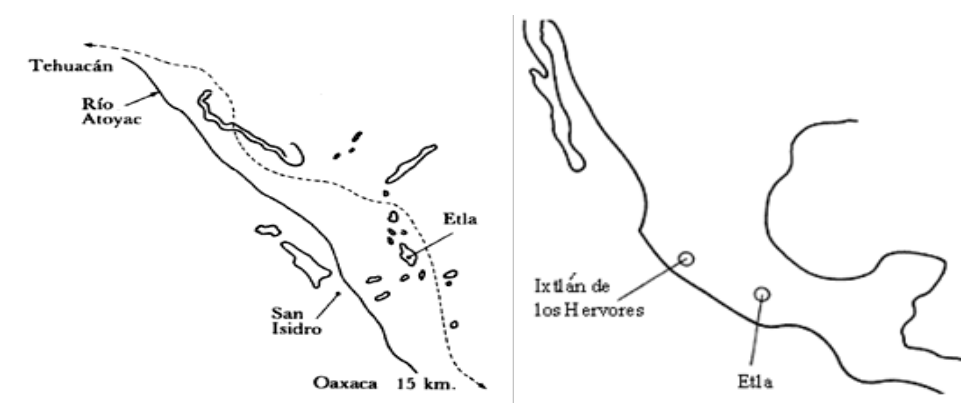


Figura 2. Lugar donde se informó (Mumpton, 1973) de la existencia de zeolitas en México por primera vez.

Otro depósito se encuentra ubicado en la sierra madre occidental en el estado de Guanajuato, cercano al cinturón volcánico mexicano; las zeolitas aquí encontradas son principalmente clinoptilolita, heulandita y mordenita (De Pablo-Galán et. al., 1996; Olguín, 2005; Yanev et. al., 2007). Aunque los principales yacimientos zeolíticos se encuentran en los estados de Oaxaca y Sonora (Yanev et. al., 2007; Olguín, 2005), este grupo mineral está presente en grandes reservas en otros estados del país como Puebla, San Luis Potosí, Guanajuato y varios más, en total, son 18 estados mexicanos donde existen depósitos considerables (Ostrooumov, 2002). Además, Hernández et. al., (2010), dan a conocer resultados de nuevos yacimientos encontrados en México, ubicados en las localidades de Tehuacán y Acatlán en el estado de Puebla y dos especímenes más provenientes de

yacimientos localizados en Zapopan, Jalisco. Dichos resultados indican la existencia de cantidades considerables de microporos pertenecientes por su estructura a clinoptilolita y mordenita; y suponen que estos materiales pueden ser aplicados en áreas como la biomédica y agrícola. Las zeolitas naturales más adecuadas para los usos anteriormente descritos son la clinoptilolita, mordenita, erionita y la chabasita las cuales se caracterizan por su gran poder de intercambio iónico y mayor resistencia al ataque de ácidos u otras sustancias. Por ello, es obvio que cualquier nuevo hallazgo de esta materia prima natural tiene una importancia considerable tanto científica como práctica pues provoca el impacto enorme en el desarrollo de las regiones y países (Ostrooumov, 2002). En México la zeolita natural presente en mayor cantidad es la clinoptilolita (Ostrooumov, 2002), en realidad esta zeolita sedimentaria descubierta en 1890 es la más distribuida en el mundo y se obtiene con gran pureza en la mayoría de los yacimientos conocidos (Colella, 2011; Inglezakis y Loizidou, 2012), en consecuencia es también la más estudiada en áreas tales como la alimentación animal (Castaing, 1998), y la única con análisis de datos comparativos disponibles (Colella, 2011).

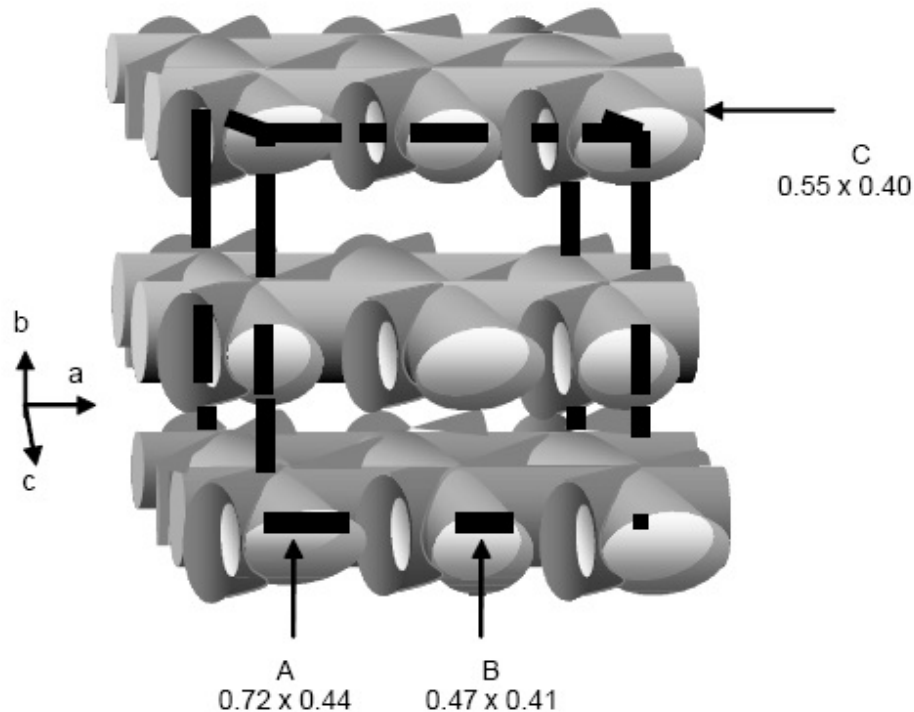


Figura 3. Representación esquemática del arreglo de los canales en la clinoptilolita (Hernández et. al., 2005).

La clinoptilolita (Figura 3) en un principio había sido considerada como ptiolita, aunque tiempo después se observó que mantenía una estricta similitud con la heulandita, actualmente se considera que pertenece a la familia de la heulandita, sin embargo, si la estructura cristalina de los minerales de este tipo que resisten 450°C se considera clinoptilolita, la sílice presente en la estructura de la clinoptilolita, aparenta ser la responsable del incremento en la estabilidad (Pavón Silva et. al., 2001); las zeolitas del tipo de las heulanditas se caracterizan por cambios marcados en la relación Si / Al así como por la composición de cationes intercambiables presentes en su estructura; las de bajo contenido de sílice son ricas en calcio (Ca^{++}) y a menudo contienen Bario (Ba^+) y Estroncio (Sr^+), mientras que el Potasio (K^+), Sodio (Na^+) y Magnesio (Mg^{++}) son más frecuentes en la variedad rica en silicio, sin embargo de todos estos cationes el K^+ es el más común en la clinoptilolita. Dentro de las cuales, las variedades con menor proporción de silicio son denominadas como clinoptilolita cálcica debido a que acumulan mayor cantidad de este elemento en su estructura (Olguín, 2005).

La estructura porosa de la clinoptilolita presenta tres canales huecos; un canal formado por anillos contiguos de ocho miembros con un acceso libre de 0.26 x 0.47 nm, y dos canales paralelos, uno de ocho miembros con ventanas de acceso de 0.33 x 0.46 nm y un canal de 10 miembros con acceso de 0.3 x 0.76 nm, Figura 4 (Olguin, 2005). Pequeños cationes hidratados, como Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , pueden entrar libremente en estos canales y ocupar determinados sitios. (Figura 4).

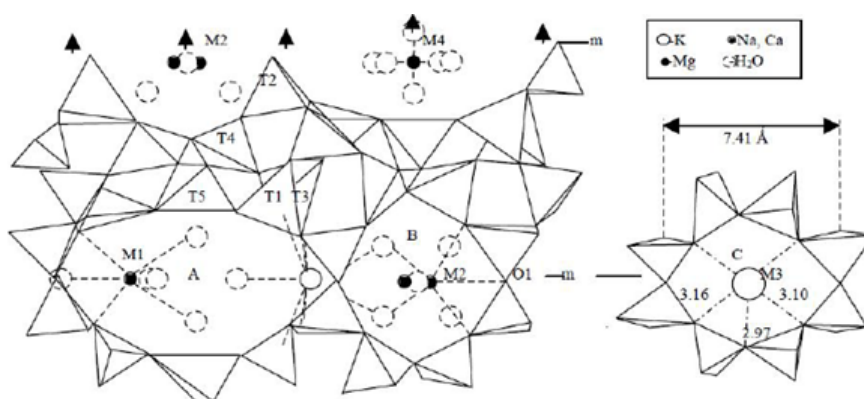


Figura 4. Estructura de la clinoptilolita (Montes-Luna et. al., 2015).

Los cationes son los centros específicos para la adsorción de las moléculas por lo que juegan un papel muy importante en el comportamiento de los procesos de adsorción y separación de mezclas de gases (Montes-Luna et. al., 2015). En general, desde un punto de vista químico, las zeolitas son una clase de aluminosilicatos cristalinos basados en un esqueleto aniónico rígido, con cavidades, canales y poros bien definidos (Callejas, 2009).

Es, por lo tanto, este arreglo estructural (Cuadro 1) lo que les permite a las zeolitas ligar moléculas presentes en el medio, funcionando como malla molecular al separar del medio en que se encuentre aquellas moléculas que cuenten con el tamaño suficiente para ingresar a los anillos y canales propios de la estructura, de esta manera actúan selectivamente por tamaño, por lo tanto, cada especie de zeolita tiene su determinado potencial de adsorción hacia cierto número de moléculas (Bosch y Schifter, 1988).

Cuadro 1. Características de los canales y sitios en la clinoptilolita (Hernández et. al., 2005a).

Canal	Tipo anillo/eje del canal	Sitio del catión	Cationes mayoritarios	Dimensiones del canal nm x nm
A	10/c	M (1)	Na ⁺ , K ⁺	0.72 x 0.44
B	8/c	M (2)	Ca ⁺⁺ , Na ⁺	0.47 x 0.41
C	8/a	M (3)	K ⁺	0.55 x 0.40
A	10/c	M (4)	Mg ⁺⁺	0.72 x 0.44

1.2.3. Particularidades de las zeolitas naturales

Las zeolitas naturales están contempladas dentro de los adsorbentes microporosos más representativos (Hernández et. al., 2005), dentro de estas solo un grupo reducido sobresale por su bajo costo, cantidad, pureza, accesibilidad y disponibilidad para su aplicación (Hernández et. al., 2010), la capacidad para intercambiar iones por parte de las zeolitas se conoce desde hace 100 años, pero su aplicación dentro de la industria se realiza después de 1960 (Castaing, 1998), con el

propósito de aprovechar la habilidad de adsorción de manera selectiva de gases, moléculas de vapor, así como también cationes específicos, mientras rechaza otros mediante el proceso conocido ahora como tamizado molecular (Trckova et. al., 2004; Dschaak, 2012); así mismo son capaces de ganar y perder agua reversiblemente e intercambiar cationes sin sufrir cambio en su estructura original (Mumpton y Fishman 1977; Trckova et. al., 2004).

Los minerales zeolíticos son actualmente reconocidos como uno de los más abundantes y significantes silicatos en rocas sedimentarias en el mundo y forman parte casi del 75% de la corteza terrestre (Inglezakis y Loizidou, 2012); ya no son una mera curiosidad mineralógica, si no que ahora representan un verdadero producto mineral de gran utilidad mundial; esto debido a las propiedades que las diferentes especies de zeolitas naturales poseen como intercambiadores de cationes, adsorción y catálisis. Este recurso mineral se utiliza en diversas áreas de la actividad humana como la industria del papel o fabricación de cementos puzolánicos y concretos, además de ser usado como agregados de bajo peso, en procesos de fertilización y mejorador de suelos, y por su capacidad de intercambio de cationes es empleado en la disminución de sustancias contaminantes, así como también en la separación de oxígeno y nitrógeno del aire (Mumpton y Ormsby, 1976; Alvarado Ibarra et. al., 2013).

Aunque las zeolitas naturales se han utilizado intensamente desde la década de los años 50 del siglo pasado, la atención se ha centrado en las zeolitas sintéticas debido a su mayor capacidad de adsorción. Sin embargo, con el descubrimiento de grandes yacimientos a cielo abierto el interés por los materiales de origen natural se ha incrementado, por ello, consecuentemente han alcanzado un significativo rol industrial hasta hoy (Alvarado Ibarra et. al., 2013).

Las propiedades naturales presentes en las zeolitas son posibles de modificar a través del contacto con productos surfactantes que cambia las propiedades de la superficie al reemplazar los cationes originales; con esto las zeolitas no solo mantienen mucha de su capacidad de intercambio catiónico nativo, sino que adquieren capacidad adicional para adsorber o disolver moléculas orgánicas no polares (Castaing, 1998; Colella, 2011). Además, si la concentración de la solución

surfactante es suficientemente alta, las zeolitas aparte de ser modificadas, aumentan su capacidad de intercambio iónico externo aproximadamente al doble de lo habitual, con lo cual se vuelve capaz de interactuar también con moléculas orgánicas hidrofóbicas (Colella, 2011). Este fenómeno es conocido como solubilización de la superficie (Jevtic et. al., 2011).

1.2.4. Estructura físico química de las zeolitas naturales.

Como se ha mencionado, las zeolitas naturales están compuestas de aluminio y silicio, donde forman tetraedros alternos. Esta armazón contiene canales donde se encuentran los cationes sodio (Na^+), calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+) estos funcionan como neutralizadores de las cargas negativas y las moléculas de agua. Los cationes dentro de la zeolita son móviles y se pueden intercambiar en diferentes grados por otros cationes (Mumpton y Fischman, 1977; Mumpton, 1983; Galindo et. al., 1990).

Las zeolitas contienen fundamentalmente oxígeno y silicio en una relación 2:1; cuando los tetraedros contienen silicio como catión central, la estructura es eléctricamente neutra (Mumpton and Fishman, 1977). No obstante, cuando en las zeolitas el silicio tetravalente se reemplaza por el aluminio trivalente da lugar a diferencias de cargas positivas. Así, las cargas negativas son balanceadas por cationes mono y divalentes, como: el Na^{++} , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , que cubren la estructura (Mumpton and Fishman, 1977; Pond y Mumpton, 1984; Bosch y Schifter, 1988).

Como ya se ha mencionado, las zeolitas tienen aluminio, silicio y oxígeno en su armazón estructural; los átomos de aluminio y silicio que forman la estructura de las zeolitas tienen una coordinación tetraédrica entre ellos, a través de átomos de oxígeno compartidos por ambos, dando origen a los tetraedros (Figura 5), considerados la unidad fundamental de la estructura de las zeolitas (Calleja, 2009). Los tetraedros pueden aparecer con un átomo de silicio en el centro, o bien con un aluminio. No parece ser de mayor trascendencia que los tetraedros sean de silicio o de aluminio siempre y cuando se respete el equilibrio de cargas, o sea, que las cargas libres debidas a la presencia del aluminio sean neutralizadas con otros iones (Bosch y Schifter, 1988).

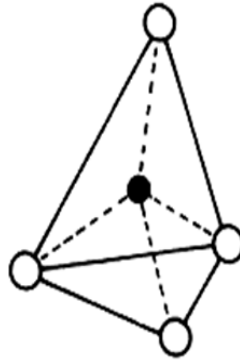


Figura 5. Tetraedro, unidad fundamental de las zeolitas naturales.

La unión de dos tetraedros mediante puente de oxígeno se representa con una línea recta, de manera que la unión de seis tetraedros se representa mediante un hexágono (Figura 6), formando lo que se conoce como anillo-6. En cada vértice de un anillo-6 se encuentra un átomo de silicio o aluminio coordinado tetraédricamente.



Figura. 6. Agrupación de tetraedros formando anillos-6.

En realidad, los tetraedros pueden combinarse compartiendo dos, tres o sus cuatro vértices, lo que da lugar a muchas estructuras diferentes (Calleja, 2009).

1.2.5. Usos diversos de las zeolitas naturales.

La capacidad de intercambio catiónico en las zeolitas las hace una alternativa viable para procedimientos químicos y biológicos tales como la remoción y almacenamiento de desechos nucleares, recuperación o encapsulamiento de cationes de metales pesados, ablandamiento del agua dura, recuperación de suelos

y alimentación animal, todas áreas donde las zeolitas son de gran valor (Colella, 1999). Sin embargo, los indicios acerca del empleo de las zeolitas naturales no es algo nuevo, la primera forma de su uso se remonta a aproximadamente 2,000 años de antigüedad, las construcciones edificadas que aún permanecen en los lugares cercanos a los yacimientos son prueba de ello. Por sus características físicas propias de baja densidad, alta porosidad y homogeneidad, aunado a que su estructura les permite ser cortadas con relativa facilidad, contribuyó a que hayan sido utilizadas con fines de construcción por culturas antiguas como es el caso de la Zapoteca en México, mismo caso en Italia, en donde durante el periodo del imperio romano se edificaron construcciones donde se utilizó este mineral como tipo cemento. En general en Europa central aún pueden verse numerosas catedrales y edificios públicos construidos a base de este recurso (Mumpton, 1999).

Hoy en día, el mundo está enfrentando una crisis a falta de agua limpia para beber (Kalló, 2001, Wang y Peng, 2010), y la condición es especialmente severa en países en desarrollo (Tiwari et. al., 2008), el rápido desarrollo de varias industrias que producen una enorme cantidad de aguas residuales que descargan en los cuerpos de agua naturales y el suelo (Wang y Peng, 2010), contamina con residuos iónicos los ecosistemas (Shaobin Y Peng., 2010). Las dificultades de satisfacer las demandas crecientes por agua limpia en el mundo son mayores a consecuencia de que grandes zonas del planeta sufren de prolongadas sequias, concomitantemente con el aumento continuo en la población mundial y al mayor énfasis impuesto en las normas sanitarias sobre las regulaciones de salud (Tiwari et. al., 2008). Por lo tanto, es indispensable optimizar el recurso retirando contaminantes como el amonio, que cuando se encuentra presente en cantidades altas puede afectar la salud humana y animal al ser ingerido (Tiwari et. al., 2008).

En tal caso, la clinoptilolita ha mostrado la habilidad de extraer hasta el 97 % del amonio presente en el agua convirtiéndola apta para consumo con nivel inferior a una parte por millón, Hulbert (1987), menciona que el proceso de intercambio iónico completo encaminado a remover el amonio requiere un periodo de tiempo aproximado de tres días. Aunque las zeolitas naturales tienen gran afinidad por el amonio (Castain, 1988), metales pesados como $\text{Co}^{++} > \text{Cu}^{++} > \text{Zn}^{++} > \text{Mn}^{++}$

(Erdem et. al., 2004), al igual que Cd^{++} y Ni^{++} (Pavón Silva et. al., 2001), presentes en el agua, es posible retirarlos a través del filtrado con clinoptilolita, además Pavón Silva et. al., (2001) observaron que el Na^+ es el catión que predominantemente interviene en el intercambio iónico en solución acuosa de prueba, esto determinado por desaparición del elemento de la zeolita, y el aumento en el contenido de $\text{Zn}^{++} > \text{Cd}^{++} > \text{Ni}^{++}$ en este preciso orden de selectividad sobre la estructura del mineral.

La purificación de agua utilizando zeolitas se lleva a cabo desde finales de la época de los 70s del siglo pasado en EU. Para el proceso se utilizó clinoptilolita con la finalidad de disminuir el NH_4 en el afluente utilizado, hasta estándares potables de menos de una parte por millón y la concentración de amoniaco (NH_3) de igual forma, disminuirlo de 15-20 ppm a menos de 2 ppm, logrando así la potabilización del agua tratada (Mumpton, 1999). Hulbert (1987), por su parte, reporto que en soluciones acuosas agitadas el intercambio iónico completo entre sodio y NH_4 se realiza en tres días, proceso que se lleva a cabo en el mismo periodo de tiempo también entre los iones calcio y el sodio. Si se considera que el catión más común en el agua que afecta la salud humana y animal es el amonio (NH_4) (Tiwari et. al., 2008), y que las zeolitas naturales en especial la clinoptilolita, es capaz de extraer hasta en 97% de estas fuentes de nitrógeno, no es difícil entender porque países como Rusia y Ucrania estén utilizando esta fuente mineral para mejorar el grado de calidad del agua que consumen (Mumpton, 1999).

El proceso de catálisis llevado a cabo por las zeolitas es un ejemplo del impacto y de los efectos benéficos que estos materiales ofrecen sobre el comportamiento y eficacia de los procesos industriales, así como también el beneficio que la humanidad obtiene al hacer uso de ellos (Weitkamp, 2000). En general, las zeolitas naturales no compiten con sus contrapartes sintéticas en el proceso de adsorción o catálisis, a consecuencia de su menor capacidad de adsorción y a la presencia de cantidades traza de hierro y otros catalizadores tóxicos; sin embargo, los investigadores han hecho bastante progreso en la desecación y purificación de gases ácidos empleando modernita y chabazita naturales como catalizadores para remover agua y bióxido de carbono de fuentes de gas natural (Mumpton, 1999). Desde su introducción en la refinería de hidrocarburos, los

catalizadores a base de zeolitas han sido los responsables del mejoramiento en el rendimiento de las gasolinas, así como octanaje de las mismas, contribuyen en la producción de combustibles y lubricantes más limpios, y mejoran a la vez las propiedades para desempeño de los mismos (Degnan, 2000).

En general, según Jianhua et. al., (1999), las zeolitas y tamices moleculares con gran área de superficie son los únicos materiales con la selectividad por forma, y la catálisis desarrollada sobre las zeolitas juega un papel importante en los benignos procesos catalíticos; sin embargo, el incremento en las restricciones medioambientales están prohibiendo el uso de catálisis de histoquímica clásicos, los cuales generan grandes cantidades de contaminantes, haciéndose necesario el uso de catalizadores a base de zeolitas básicas con capacidad redox (Wallau y Schuchart, 1995), que pueden obtenerse a través de la modificación con sales de potasio neutras o dispersión con óxido de magnesio combinado con irradiación de microondas (Jianhua et. al., 1999).

Los primeros experimentos realizados con zeolitas naturales como la clinoptilolita fueron dirigidos para controlar los niveles de cesio y estroncio procedentes de fugas en los reactores nucleares. Las zeolitas naturales tienen actividad selectiva hacia ciertos radionucleótidos como estroncio⁹⁰, cesio¹³⁷, cobalto⁶⁰, calcio⁴⁵ y cromo⁵¹ comparado con organoresinas y además son más baratas y mucho más resistentes a la degradación nuclear (Mumpton, 1999).

La selectividad manifiesta por cesio y estroncio por parte de las zeolitas permite el tratamiento contra el polvo radioactivo producido en accidentes nucleares como el ocurrido en la planta nuclear de Chernobyl en 1986, así como también el resultante de pruebas nucleares. La adición de clinoptilolita a suelos contaminados con estroncio redujo la captación de este radio nucleótido por las plantas del lugar e inhibió también la captación de cesio por las mismas (Mumpton, 1999).

En lo que respecta a animales, Forsberg et. al., (1989), encontraron que cabras y corderos alimentados con forraje contaminado con cesio radiactivo, excretaron en heces y orina más del doble del contaminante ingerido, lo que prueba que las zeolitas son capaces de evitar la acumulación y promover la eliminación del organismo de los contaminantes nucleares que ingresan por cualquier otra vía.

Como el uranio es el elemento más importante en la industria nuclear Matijasevic et. al., (2006), cambiaron las propiedades de absorción de las zeolitas, convirtiéndola en organozeolita al aplicarle 10 meq/100 g hexadeciltrimetilamonio; este cambio en las propiedades de adsorción aumentó la cantidad de uranio retenido comparado con las zeolitas sin tratar.

1.2.6. Las zeolitas naturales en la agricultura

El crecimiento del sector agrícola desempeña un papel crucial en la mejora de la renta de las personas pobres de las áreas rurales, proporcionando trabajos dentro y fuera de las plantaciones (FAO, 2002). En las que el uso de minerales con propósito agrícola es una práctica muy generalizada y necesaria en nuestro tiempo, ya que se requiere obtener el máximo rendimiento agrícola por unidad de suelo cultivable para satisfacer el abasto mundial de productos agrícolas. Según el reporte de la FAO (2002), se han dado grandes pasos para mejorar la seguridad alimentaria, y aclara además que la proporción de personas que viven en países en desarrollo con una ingesta media de alimentos por debajo de 2, 200 calorías diarias disminuyeron del 57% que se tenía entre 1964 y 1966 a sólo el 10% para el periodo de 1997 a 1999. No obstante, aún 776 millones personas que viven en países en desarrollo siguen padeciendo desnutrición. Para asegurar el abasto para este grupo de personas la misma FAO (2012), aclara que es necesaria mayor inversión en agricultura para mejorar la productividad del campo.

Sin embargo, para maximizar la producción agrícola es fundamental el estatus fértil de las zonas cultivables; razón por la que se han incorporado materiales de distintos tipos, dentro de los cuales se hayan las zeolitas naturales, pues se sabe que mejoran la capacidad productiva de los suelos (Mumpton, 1999), el mismo autor menciona que en los suelos tratados con zeolitas se ha mejorado la productividad de varios cultivos, y en los mismos suelos se aprecia un efecto residual favorable (Andronikashvili et. al., 2010), e incluso se vuelve innecesario aplicar periódicamente fertilizantes durante ese periodo de tiempo (Mumpton, 1999).

Dentro de los diferentes tipos de suelos, el de tipo arenoso es particularmente beneficiado con la inclusión de zeolitas, ya que estos minerales tienden al aumentar

la capacidad de retención de agua (Alhajhoj Al-Qahtani, 2009), propiedad con la que de manera natural estas superficies no cuentan por la estructura propia de la arena; aunado a la captación de agua, también es posible reducir la pérdida por filtración de los cationes intercambiables, especialmente potasio, cuando las zeolitas están presentes (Bernardi et. al., 2010).

Al mejorar la fertilidad del suelo, las plantas por consecuencia se benefician también. Un mecanismo por el cual las zeolitas mejoran el rendimiento de las plantas (Urbina-Sánchez et. al., 2006), es aumentando el suministro de oxígeno a la raíz de los vegetales, sobre todo cuando el tamaño de la partícula es uniforme. También se advierte que actúan de manera conjunta con otros elementos como el fósforo contenido en la roca fosfórica (Bernardi et. al., 2010), el nitrógeno de fuentes como amonio y nitrato (Bernardi et. al., 2010), o el de origen ureico (Crespo, 1989), los cuales se vuelven disponibles por más tiempo para las plantas, ya que se evitan las pérdidas por escurrimiento por efecto de adsorción de las zeolitas (Bernardi et. al., 2010). La clinoptilolita en particular mencionan Polat et. al., (2004), mejoran el uso de los fertilizantes, y como consecuencia promueven el mejor crecimiento y desarrollo de las plantas con las que están en contacto; incrementando de esta forma el rendimiento de los cultivos al momento de la inclusión, sino que el efecto sigue apareciendo bastante tiempo después a la aplicación

La clinoptilolita cargada con NH_4^+ aplicada en el cultivo de rábano en sistema de invernadero, provocó aumento de 59% en el peso del sistema radicular (Mumpton, 1999). Por su parte Urbina-Sánchez et. al., (2006); evaluaron el desarrollo de plántulas de jitomate con tres tamaños de partícula de clinoptilolita (0.71-1.00, 1.01-2.00 y 2.01-3.36 mm) para determinar las propiedades físicas y de intercambio de cationes de esta especie mineral en un sistema hidropónico; la clinoptilolita fue cargada con K^+ , Ca^{++} o Mg^{++} con la finalidad de desplazar el Na^+ , elemento fitotóxico para las plantas. Al final de la prueba el K^+ fue el catión más eficiente para desplazar al Na^+ en la zeolita natural; las zeolitas cargadas con K^+ o Mg^{++} produjeron plántulas de mayor tamaño, en conjunto con la granulometría fina y media. Por su parte Andronikashvili et. al., (2010), reportaron el efecto residual ejercido por la clinoptilolita en plantaciones de Uva; en su estudio los autores observaron que la respuesta

productiva fue mejorada 76 % el año de la aplicación, y el efecto positivo se extendió a los siguientes dos años evaluados; el porcentaje de incremento fue de 90 y 115 % respectivamente, comprobándose así, el efecto residual ejercido en los suelos por parte de las zeolitas naturales.

Las zeolitas también son responsables de hacer más eficiente la utilización del nitrógeno aportado por la urea por parte del pasto *brachiaria decumbens* (Crespo, 1989) El beneficio de las zeolitas ha sido evidente también en la tasa de germinación de semilla, por lo que en ocasiones es adicionada a la semilla de pastos que serán utilizados como césped en estadios para eventos deportivos; según los autores la clinoptilolita aumenta la retención de agua y evita la pérdida por filtración de nutrientes en las superficies arenosas (Alhajhoj Al-Qahtani, 2009).

1.2.7. Las zeolitas naturales en humanos

Tanto las zeolitas naturales como las sintéticas han emergido en los últimos años como materiales aptos para aprovecharlos en medicina humana y su mayor potencial de aplicación se aprecia en el área farmacológica, debido a su capacidad de adsorción de diferentes iones y moléculas orgánicas y su ya conocido proceso de liberación al medio de manera gradual (Rodríguez-Fuentes et. al., 1997; Jevtic et. al., 2011). Las zeolitas naturales son materiales no tóxicos y seguros para incorporarse en la terapia de ciertos padecimientos humanos (Rodríguez-Fuentes et. al., 1997) o en la prevención de ellos mediante el uso de vacunas, en las cuales se ha incorporado a la clinoptilolita debido a que esta manifiesta una marcada actividad biológica que ha sido aprovechada exitosamente como coadyuvante en estos productos biológicos (Pavelic et. al., 2001). Además, ha mostrado su beneficio en el tratamiento de enfermedades gástricas como la diarrea. Los datos (Cuadro 2) de Rodríguez-Fuentes et. al., (1997) indican que 75.6 % de los pacientes tratados con tabletas a base de clinoptilolita se recuperaron del padecimiento en las primeras 24 h, mientras que 24.4 % de los afectados necesitaron 12 h adicionales para su completo restablecimiento.

En estudios de investigación de años anteriores han mostrado que las zeolitas naturales ofrecen mayor beneficio en la salud humana, pues la clinoptilolita de origen

cubano parece ser bastante efectiva como adsorbente de glucosa, lo que permite considerar la posibilidad real de llevar a este mineral hasta la medicación de individuos que padecen complicaciones relacionadas con altos nivel de esta molécula en sangre (Pavelic et. al., 2001).

Cuadro 2. Efectividad del producto enterex¹ en la terapia de pacientes con diarrea.

Tiempo de terapia (h)	n	%
<24	328	75.6
24-36	106	24.4
Total	434	100.0

¹Enterex, droga antidiarreica a base de clinoptilolita natural purificada.

Investigaciones realizadas en el área biomédica donde ha participado la clinoptilolita previamente tratada con cationes orgánicos de larga cadena con propiedades surfactantes que modificaron sus propiedades de superficie, y que por ende ocasionó el reemplazo de los cationes originales; hizo evidente que las zeolitas no solo mantienen mucha de su capacidad de intercambio catiónico nativo, sino que además se vio aumentada la capacidad para adsorber o disolver moléculas orgánicas no polares. Además, si la concentración de la solución surfactante es suficientemente alta la zeolita es modificada y su capacidad de intercambio catiónico externa es aumentada aproximadamente al doble de lo habitual y se vuelve capaz de interactuar con moléculas orgánicas hidrofobias que de manera natural no sería posible (Colella, 2011).

El proceso de modificación antes descrito sobre las zeolitas hizo evidente la posibilidad de que algunos compuestos de importancia para la salud humana sean incorporados formando complejos que desempeñarían una mejor función dentro del organismo, tal es el caso del aceclofenaco, químico utilizado en procesos inflamatorios en humanos, fue expuesto a la zeolita lográndose la adsorción de manera eficiente (Krajisnik et. al., 2013). Del mismo modo Jevtic et. al., (2011) modificaron la capacidad de adsorción de la clinoptilolita mediante el empleo de cloruro de benzalconio, el cual presenta propiedades como surfactante catiónico que en este caso mejoró la captación de la molécula de aspirina; además se observó que

después de la adsorción la molécula fue liberada en dos fases, la primera ocurrió en un lapso de 15 minutos, mientras que la segunda fase fue más lenta, extendiéndose por espacio de 6 horas.

1.2.8. Acción de las zeolitas naturales sobre la fisiología digestiva

La eficiencia alimenticia es el indicador que con más frecuencia se ve modificado por la adición de zeolitas (Oliver, 1997); al respecto, Petunkin (1991), indica que los efectos de las zeolitas sobre la eficiencia alimenticia podrían deberse a una reducción en la velocidad de paso a través del intestino, a la inmovilización de enzimas o a su influencia sobre la microflora intestinal. Por lo tanto, la posible mejora en la utilización de nutrientes puede ser atribuida a una reducción o pre distribución de la microflora del intestino; o disminución del conteo bacteriano como lo indica el informe de Oliver (1997), donde el número de bacterias en la porción proximal y distal del intestino fue significativamente más bajo en los animales suplementados con zeolita. Además, agregan que las zeolitas pueden facilitar el drenaje de sangre en las vellosidades intestinales, lo cual podría aumentar la actividad celular a su alrededor; de tal manera que esto podría mejorar tanto la digestión como la absorción de nutrientes, pues las zeolitas, mencionó Petunkin (1991), pueden beneficiar a los órganos implicados en los procesos metabólicos como son el hígado, páncreas y riñones, además señaló que las zeolitas inciden directamente sobre las vellosidades intestinales, modificando el número, tamaño y forma de estas. Además, observo en aves que las zeolitas aumentan la cantidad de energía metabolizable aparente y neta, así como la digestión verdadera de la proteína en el tracto digestivo de las aves. En general los beneficios observados en diferentes reportes señalan que las zeolitas son capaces de mejorar bajo ciertas circunstancias (Martínez et. al., 2004), la eficiencia del uso de los nutrientes tales como carbohidratos, grasas y proteínas, mejora la tasa de crecimiento, controla los problemas entéricos, disminuye olores indeseables en las instalaciones y secuestra micotoxinas.

1.2.9. Alimentación de monogástricos con zeolitas naturales.

La alimentación animal es un área de gran trascendencia en toda explotación pecuaria ya que representa por sí sola el éxito o el fracaso de la empresa dependiendo de si esta se efectúa de manera correcta o no según sea el caso. Con el paso del tiempo a los componentes alimenticios necesarios e indispensables para el desarrollo animal se han agregado otros productos que mejoran el rendimiento productivo de diferentes maneras, según el aditivo en cuestión. Diversas investigaciones han probado que la inclusión dietaria de zeolitas mejora la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia en varias especies como aves (Quisenberry, 1968; Mumpton y Fishman, 1977), cerdos (Mumpton y Fishman, 1977; Defang y Nikishov, 2009; Méndez et. al., 2011), bovinos (Koknaroglu et. al., 2006; Pulido et. al., 2004), y ovinos (Pond, 1984; Stojkovic et. al., 2012).

1.2.9.1. Aves. En aves, sobre todo en pollos de engorda el empleo de zeolita natural en la dieta ha promovido mejora en lo productivo determinado por una mayor eficiencia metabólica por una mejora en la utilización de los nutrientes, disminución o abatimiento de las enfermedades gastroentéricas y de los efectos tóxicos de micotoxinas contaminantes de alimentos. Las zeolitas también han demostrado mejorar la calidad de la canal (González et. al., 1996). El efecto sobre desempeño productivo en las aves había sido reportado previamente por Quisenberry (1968) utilizando arcillas. El investigador observó aumento en el peso de gallinas ponedoras y también mayor tamaño del huevo tipo comercial en los animales sobre los tratamientos que integraron a la bentonita y caolinita al 5 % de la dieta; además la eficiencia energética fue mejorada en las aves en que estuvo presente la caolinita. El autor también reportó diferente respuesta al emplear dos clases de bentonita, cálcica o sódica, a nivel de 5 %. En dicha respuesta se vio favorecida la producción de huevo de tamaño comercial en 13 % para la bentonita cálcica y 15 % para la sódica.

Por su parte Berrios et. al., (1983) necesitaron menor cantidad de energía para producir cantidades similares de huevo por ave en los piensos de gallinas ponedoras que incluyeron 2.5, 5 y 10 % de zeolita en la dieta comparado con las gallinas en el tratamiento testigo. El consumo de alimento y los kilogramos de huevo producido por ave no fueron afectados significativamente en este experimento.

Lon-wo et. al., (1987) estudiaron el comportamiento de pollos de engorda, los cuales fueron alimentados con dos dietas en las que participó la zeolita en 0 y 5 %. La evaluación comprendió desde la primera semana de vida hasta la octava semana de edad en que finalizó la prueba, a través de este tiempo los tratamientos no incidieron significativamente sobre las variables; y solo al final del periodo se encontró efecto sobre la conversión alimenticia en 11 % a favor de la adición de zeolita.

En una prueba de comportamiento que incluyó a pollos en engorda más zeolita en 2 % dentro de la dieta basal se encontró 3.6 % mejorada la ganancia de peso en un lapso de 42 días respecto a los pollos alimentados sobre la dieta basal únicamente. Además, la zeolita se agregó también a la cama como un tratamiento más, a razón de 2 Kg / m², y similarmente los animales en presencia de clinoptilolita ganaron 3.3 % más peso al final del periodo de prueba y la concentración de nitrógeno amoniacal en las excretas fue 26 % menor para el tratamiento que para el control (Karamanlis et. al., 2008). En un trabajo similar Strakova et. al., (2008) encontraron diferencia significativa en el peso vivo de pollos de engorda tanto hembras como machos alimentados con dietas que incluían a la clinoptilolita en proporción de 0.05, 1.5 y 2.5 %, al final de la prueba los pollos en el grupo experimental fueron más pesados que los del grupo control, la diferencia reportada fue de 5 % en los machos y 3 % para las hembras. Por su parte Pérez et al. (1988) investigó la inclusión de tres niveles de zeolita en la dieta para pollos de engorda, la adición de zeolita a las dietas fue de 0, 3, 5% con el agregado extra de 10% de miel fina. Los resultados obtenidos fueron conversión de 2.39, 2.25 y 2.31, el peso vivo de 1.741, 1.770, 1.749 g/ave, la ganancia en peso de 1.532, 1.558 y 1.539 respectivamente.

1.2.9.2. Cerdos. La alimentación de cerdos con zeolitas ha sido estudiada por (Defang y Nikishov, 2009) con la finalidad de medir el comportamiento productivo y las alteraciones de los componentes dietarios dentro del organismo cuando es adicionado este mineral. En este experimento se utilizaron cerdos de 36.5 Kg de peso vivo y el periodo de prueba consistió de 135 días durante los cuales se incluyó

a la clinoptilolita en proporción de 0, 3, 4 y 5 % como parte de la dieta alimenticia. Los resultados mostraron que la inclusión de clinoptilolita a diferentes niveles significativamente mejoró en 8.6 % la ganancia diaria de peso, redujo la edad al mercado e hizo más eficiente el uso del alimento comparado con el testigo. No se observó diferencia en el peso de órganos internos como corazón, hígado y riñones, ni se produjo cambio alguno en la calidad de la carne. Contrariamente, Hatieganu et. al., (1979) probaron con 3 % de zeolita en la dieta de cerdos de 12 a 30 kg de PV, encontrando efectos significativos ($P < 0.05$) en incrementos de peso, reducción en consumo y mejor conversión alimenticia.

En una prueba de crecimiento en cerdos que promediaron 25 Kg. de peso vivo inicial, que fueron asignados a consumir dietas que contenían 0, 0.3 de zeolita A y 0.5 % de clinoptilolita por un periodo de seis semanas no mostraron diferencia entre una u otra zeolita en la dieta sobre la ganancia diaria de peso, ingesta de alimento o la eficiencia alimenticia, sin embargo, la energía metabolizable se utilizó más eficientemente por los cerdos alimentados con dietas con zeolita.

En una segunda prueba de los mismos autores y con los mismos cerdos que ahora promediaban 65 Kg. de peso vivo inicial fueron sometidos a consumir dietas con 0, 1 % de zeolita A o 5 % de clinoptilolita en un periodo de ocho semanas que duro la fase de finalización.

De la misma forma la ganancia diaria de peso y el consumo diario de alimento no fueron afectados por la alimentación de zeolitas, aunque en esta ocasión la utilización de la energía metabolizable tampoco fue influenciada por los tratamientos.

En esta prueba la variable modificada a favor fue la eficiencia alimenticia en la dieta con clinoptilolita (Shurson et. al., 1984). Por su parte, Leung (2004), evaluó la inclusión de 0, 2, 4 y 6 niveles de zeolita, con niveles altos y bajos en proteína y energía en cerdos de 23 a 110 kg de PV; y como esto influían sobre el comportamiento productivo y la calidad de la canal. La prueba no arrojó diferencia significativa en el desempeño productivo, no obstante, en la etapa inicial, cuando los cerdos pesaron 23 kg las dietas bajas en proteína con 4 % de zeolita promovieron un comportamiento similar a los animales alimentados con exceso de proteína.

Reflejándose con ello el potencial que tiene la zeolita para mejorar la utilización de los nutrientes sobre todo del N, ya que reduce sus pérdidas en heces y orina.

Castro e Iglesias (1989) investigaron la posibilidad de usar la zeolita en las dietas de cerdos de ceba, para lo cual utilizaron animales de 30 Kg de peso vivo inicial a través de un periodo comprendido de 105 días; al final del experimento los resultados obtenidos en la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia se vieron mejorados en 19 y 20 % respectivamente. Al respecto Kondo y Wagai (1968), citados por Mumpton y Fishman (1977), encontraron mejor desempeño en ganancia de peso de cerdos jóvenes y adultos suplementados con 5 % de clinoptilolita.

La respuesta fue mayor 25 a 29 % en los cerdos jóvenes y 6 % en los adultos que los animales alimentados con dietas normales. Además, hacen mención de mayor presencia de nitrógeno en todas las formas en las heces de los animales no tratados; indicando que las zeolitas contribuyeron para la mejor eficiencia de este elemento en la formación de proteína animal.

La inclusión de 2 % de zeolita no afectó la ganancia de peso, el consumo de alimento ni la conversión alimenticia (Cuadro 3), contrariamente, el nivel de 4 % afectó las variables antes mencionadas; además, la eficiencia fue 12.4 % mejor en el nivel de 2 % respecto al 4 % de inclusión (Méndez et. al., 2011) .

Cuadro 3. Comportamiento productivo de cerdos alimentados con dietas suplementadas con diferentes niveles de zeolita en tres etapas de producción

Etapa	Zeolita (%)			P>F
	0	2	4	
	Incremento de peso (Kg d ⁻¹)			
Inicio	0.547	0.575	0.542	
Crecimiento	0.672	0.629	0.640	
Finalización	1.000	1.030	0.968	
Total	0.738 ^a	0.743 ^a	0.716 ^a	0.705
	Consumo de MS (Kg d ⁻¹)			
Inicio	1.222	1.166	1.340	
Crecimiento	2.319	2.167	2.357	
Finalización	3.599	3.669	3.903	
Total	2.380 ^a	2.333 ^a	2.533 ^b	0.003 [*]
	Conversión alimenticia			
Inicio	2.245	2.056	2.474	
Crecimiento	3.438	3.441	3.699	
Finalización	3.650	3.589	4.036	
Total	3.110 ^{ab}	3.028 ^a	3.403 ^b	0.018 [*]

^{ab} Valores con igual literal dentro de la hilera son estadísticamente iguales (P>0.05).

Los metabolitos sanguíneos de los cerdos (Cuadro 4) también fueron registrados.

Cuadro 4. Concentración de metabolitos sanguíneos de cerdos alimentados con diferentes niveles de zeolitas en tres etapas de producción.

Etapa	Zeolita (%)			P>F
	0	2	4	
Glucosa (mg dL ⁻¹)				
Inicio	60.41	57.74	59.20	
Crecimiento	48.44	58.81	61.27	
Finalización	60.22	89.74	92.85	
Total	56.35 ^b	69.07 ^a	70.82 ^a	0.001 [*]
Urea (mg dL ⁻¹)				
Inicio	14.55	14.31	12.49	
Crecimiento	11.40	12.06	12.98	
Finalización	16.85	8.94	10.26	
Total	14.27 ^b	11.76 ^a	11.94 ^a	0.026 [*]
Creatinina (mg dL ⁻¹)				
Inicio	2.98	2.52	2.06	
Crecimiento	1.78	1.34	1.25	
Finalización	1.38	1.05	1.31	
Total	2.05 ^b	1.65 ^a	1.53 ^a	0.001 [*]
Proteínas totales (mg dL ⁻¹)				
Inicio	6.94	6.10	6.18	
Finalización	4.47	6.68	6.24	
Total	5.61 ^b	6.42 ^a	6.18 ^a	0.001 [*]
Colesterol (mg dL ⁻¹)				
Inicio	105.77	96.55	94.47	
Crecimiento	91.63	106.99	105.13	
Finalización	73.95	86.66	84.83	
Total	90.45 ^a	96.41 ^a	95.11 ^a	0.288

^{ab} Valores con igual literal son dentro de la hilera estadísticamente iguales (P>0.05).

La glucosa, urea, creatinina y proteínas totales fueron afectadas positivamente por el nivel de zeolita en la dieta ($P < 0.05$). Por lo tanto la evidencia indica que las zeolitas no afectaron el estatus de salud en los cerdos de este experimento, y se supone una mejora en la utilización de nutrientes, sobre todo los carbohidratos durante las etapas de crecimiento y finalización (Méndez et. al., 2011).

Por su parte, Castro y Elías (1978), no encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) para la ganancia de peso cuando adicionaron 0, 2.5, 5, 7.5 y 10 % de zeolita en dietas con melaza de caña en cerdos en la etapa de crecimiento. Sin embargo, la conversión alimenticia mejoró significativamente con relación a la dieta testigo, no obstante, dicha mejora fue apreciable a partir del nivel de 5 % de zeolita en adelante.

1.2.10. Alimentación de rumiantes con zeolitas naturales

1.2.10.1. Influencia sobre la fermentación ruminal. La alimentación animal suplementada con zeolitas naturales se ha llevado a cabo desde hace algún tiempo, de hecho, los experimentos iniciales efectuados sobre materiales de superficie activa como las arcillas proceden desde los años 50's del siglo pasado, y se condujeron primeramente en el área de la nutrición animal. Una década después, en 1960, científicos japoneses comienzan a incorporar zeolitas naturales a las dietas de los animales, específicamente clinoptilolita, para tratar de imitar los resultados logrados con anterioridad con las arcillas (Colella, 2011). Al igual que las arcillas, pero más potentes en las propiedades de adsorción, las zeolitas naturales actúan sobre los compuestos nitrogenados generados en el rumen como resultado del metabolismo de proteínas y fuentes de nitrógeno no proteico (NNP) presentes en el alimento (Mumpton, 1984). Sin embargo, para el correcto uso de estos aditivos es imprescindible conocer su naturaleza porosa, pues existe variación en el arreglo estructural de canales y poros, al igual que el tamaño medio de los poros, no solo entre las diferentes especies de rocas zeolíticas, sino entre una misma especie que proceda de distinto yacimiento (Colella, 2011). Muchos sólidos que poseen dimensiones cercanas a las moléculas son utilizados como adsorbentes selectivos

debido a la especificidad fisicoquímica que despliegan hacia ciertas moléculas (Hernández et. al., 2010), un ejemplo de esto es la clinoptilolita, la cual intercambia preferentemente el amonio retenido frente al sodio entrante en la saliva del rumiante Castaing (1998), este proceso es relevante en esta especie pues Mumpton y Fishman (1977) mencionan la posibilidad de que las zeolitas capturen hasta 15 % del amonio (NH_4^+) producido en el rumen para después liberarlo paulatinamente, lo cual provoca que el nitrógeno este presente por más tiempo dentro del rumen para permitir un mejor desempeño de la microflora ruminal (Galindo et. al., 1982). White y Ohlrogge (1974) citados por Mumpton (1999), consideran a las zeolitas como reservorio de amonio NH_4^+ para el rumiante, y a la vez coadyuvante sobre el efecto tóxico que este ion podría ejercer al acumularse en el fluido ruminal, generando de paso una disminución de la cantidad de nitrógeno convertido a urea en el hígado (Lapierre y Lobley 2001), mejorándose de esta forma la eficiencia en el uso del nitrógeno por parte del animal (Mumpton y Fishman 1977).

De las zeolitas naturales, la clinoptilolita, es la más abundante y también la más utilizada en las dietas para animales, debido a su ya probada afinidad por el NH_4^+ (Mumpton, 1999; Erdem et. al., 2004). Se espera que actúe en el rumen de los animales que la consuman como un intercambiador de iones, favoreciendo la retención de NH_4^+ para luego en un proceso lento liberarlo gradualmente al ambiente ruminal (Castro, 1996). Este proceso de intercambio iónico en el rumen se refleja en el trabajo de Goodarzi y Nanekarani (2012), donde se ve disminuido el nitrógeno amoniacal en rumen tres horas posteriores a la alimentación, además aumentó el pH, los AGV_s totales y se incrementó la población de bacterias celulolíticas en los ovinos que consumieron dietas con 4 % de clinoptilolita cálcica. McCollum y Galyean (1983), dieron a conocer que la alimentación de toretes alimentados en confinamiento con una mezcla alimenticia que incluía a la clinoptilolita en 2.5 % en base a MS produjeron más ácido propiónico que el grupo control y la cantidad de amoniaco en rumen fue menor a las 6 y 9 h después de la alimentación en estos mismos animales. También Aksoy (2013), reporta disminución del amoniaco (NH_3) ruminal en animales que consumieron 2 % de zeolita en la ración. Del mismo modo (Ghaemnia, 2010), encontró que el nitrógeno ureico en plasma disminuyó ($P < 0.05$) y la glucosa

(Cuadro 5) permaneció sin cambio ($P>0.05$) en los corderos alimentados con una dieta integral a base de avena y ensilado de maíz que incluía zeolita en proporción de 0, 3, 6, 9 % de la mezcla.

Cuadro 5. Concentración de glucosa y urea en plasma.

Variable (mg dL ⁻¹)	Zeolita (%)				EE
	0	3	6	9	
Glucosa	65.37	66.63	58.50	61.63	4.32
BUN	14.56 ^a	13.24 ^a	13.40 ^a	10.26 ^b	0.79

Por otra parte, Ruíz et. al., (2007), no encontraron efecto en los indicadores de fermentación del rumen de ovinos cuando incorporó clinoptilolita a la dieta en 0, 1.5, 3 y 4.5 % a una mezcla de 70 % de heno de alfalfa y 30 % de concentrado. Sin embargo, el ácido propiónico fue mejorado en 31 % con el nivel de 1.5 % respecto al testigo. También Coutinho-Filho et. al., (2002), hacen mención que la adición de zeolita en proporción de 1.1 % de la MS consumida por becerros machos de raza productora carne de 11 meses de edad elevó el pH fecal de 5.36 a 5.51.

El pH ruminal de becerros alimentados con 2 g de zeolita por kg de alimento se mantuvo en 6.50 durante un periodo de 90 días que duró el experimento (Nesic et. al., 2010), mientras que el pH del líquido ruminal obtenido de vacas alimentadas con ensilado más zeolita al 0.5 % durante el periodo de máxima fermentación fue aumentado en 10.46 % (6.02 a 6.65) de las 2 a las 6 h posterior a la alimentación; mientras que la producción de ácidos grasos totales (AGV_s) aumentó de 81.90 a 92.69 meq/litro, lo cual representa 13.17 % al cuantificar este parámetro.

1.2.10.2. Influencia sobre el comportamiento productivo. El comportamiento productivo de corderos ha sido mejorado en 11.79 % cuando estos recibieron una mezcla mineral que incluía 25 % de zeolita, la cual estuvo presente en la dieta por un periodo de 90 días; con base en esto los autores (Stojkovic et. al., 2012), señalaron que los corderos respondieron mejor al tratamiento cuando su necesidad fisiológica de crecimiento era mayor, esta diferencia llegó a ser de 45 g diarios en los últimos 30

días del periodo de prueba lo que representó un 20.18 % de mejora respecto al grupo testigo. Este efecto reflejado en corderos al ser alimentados con zeolitas en su dieta también fue observado por Pond (1984) quien informó que la ganancia diaria promedio fue favorable en 11.5 % en los ovinos que consumieron clinoptilolita en proporción de 2 % como parte de su alimentación. Otros reportes mientras tanto, no han informado de diferencia en el comportamiento productivo al utilizar zeolitas en la dieta. Tal es el caso de lo notificado por Estrada et. al., (2010), quienes no encontraron diferencia en la ganancia diaria de peso de ovinos suplementados con 0, 1 y 1.5 % de zeolita, sin embargo, si apreciaron mayor peso en la canal. De forma similar, McCollum y Galyean (1983) solo reportaron una ligera tendencia en la ganancia diaria de peso, lo mismo sucedió para el consumo de materia seca y materia orgánica, o la eficiencia alimenticia de toretes suplementados con clinoptilolita en proporciones de 0, 1.5 y 2.5 % en la mezcla total.

Koknaroglu et. al., (2006), sin embargo, utilizaron toretes Pardo Suizo de distinto peso vivo inicial, en los cuales 1 % de zeolita en la ración favoreció el desempeño productivo en los animales de menor peso, los cuales fueron 4.8 % más eficientes en comparación con los animales de mayor talla. Similarmente, Delgado et. al., (1996) mejoraron la GDP de toretes añejos suplementados en pastoreo con zeolita incluida en el suplemento. Por su parte Pulido et. al., (2004), no observaron diferencia en el consumo de MS en terneras post-destete alimentadas durante 60 días con 0, 3 y 5 % de zeolita en base a la materia seca de la dieta, aunque la GDP fue mejorada 27.3 % del día 31 al 60 de prueba con la inclusión de 3 % de zeolita en la ración. En otros trabajos las zeolitas no han tenido influencia sobre el comportamiento productivo, así como tampoco sobre parámetros bioquímicos y hematológicos de los animales como lo menciona Nesic et. al., (2010), pues la zeolita agregada en 2 y 5 % solo afectó significativamente de manera positiva el pH ruminal.

Por otra parte, el comportamiento productivo de vacas lecheras en lactación no fue afectado por la inclusión de 1.4 % de zeolita en base a MS en la ración totalmente mezclada cuando esta fue utilizada para medir su capacidad buferizante y verificar el pH ruminal, el cual tendió a incrementar 0.2 unidades tanto para zeolita como para bicarbonato de sodio (Dschaak et. al., 2010). El nivel de 1 % de

clinoptilolita empleado por Bosi et. al., (2002), en la dieta de vacas lecheras no indujo efecto sobre el rendimiento en leche o la composición de la misma, ni en el pH, amoníaco o la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen; solo la urea plasmática mostró mayor concentración (31.3 vs 29.7 mg/100 ml) para el tratamiento respecto al testigo. En esta misma especie Bringe y Schultz (1969) mostraron los resultados de adicionar 5 % de bentonita de sodio en dietas con una proporción de 3:1 kilogramos de concentrado a forraje; observaron que la bentonita sódica mantuvo la prueba de grasa en leche al 80 % del estándar, además el tratamiento generó una mayor proporción acetato/propionato y aumento en la captación mamaria de acetato. Al respecto, Galindo et. al., (1982), reportaron 11.64 % más de AGV totales en vacas que consumieron ensilaje a voluntad, donde la zeolita se adiciono como aderezo al 0.5% de la ración. De la misma manera, el pH fue mayor 10.8 % en las vacas que consumieron zeolita en la dieta. Trabajos previos han mostrado que las zeolitas naturales propician condiciones favorables para la celulosis ruminal (Galindo et. al., 1982), de lo que resulta una mejor digestión de la fibra y la fermentación ruminal de dietas altas en proteína soluble (Sweeney et. al., 1980). Esto explica en cierta forma los resultados encontrados por García et. al., (1988), en vacas lecheras alimentadas con pasto guinea más concentrado adicionado con 2 % de zeolita (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la zeolita en la composición de la leche

Índices	tratamiento		ES ±
	Pasto guinea + 10 kg de con/día/vaca	Pasto guinea + 10 kg de con/ día/vaca + zeolita	
Grasa, %	2.9	3.2	0.01*
Grasa, kg/día	0.62	0.73	0.03*
Sólidos totales, %	11.4	11.9	0.01*
Sólidos totales, kg/día	2.46	2.73	0.04**
Sólidos no grasos, %	8.50	8.70	0.08
Sólidos no grasos, kg/día	1.83	2.0	0.03**
Producción de leche, kg/día	21.6	23.0	0.4

*P <0.05

Se mejoró el porcentaje de grasa en leche en 10.34 % y la cantidad de sólidos totales 4.4 %, sin modificar la cantidad de leche producida.

La salud de la ubre no obstante se vio favorecida al registrar un conteo de células somáticas 5.34 % menor respecto al testigo. En este mismo sentido, Alic (2014), comunicó sobre los resultados de suplementar con 3 % de clinoptilolita la dieta de vacas lecheras, al incrementar la producción de leche y disminuir el recuento de células somáticas en 9.90 % y 5.33 %, respectivamente. Por lo anterior, García et. al., (1988), consideran que las zeolitas pueden mejorar la composición láctea cuando se emplea en los alimentos concentrados para vacas lecheras.

La adición de reguladores del pH favorece la producción de sólidos totales, grasa y proteína en la leche (Escobosa et. al., 1984); por tal razón, las zeolitas se considera que tienen influencia sobre los componentes de la leche, ya que funcionan estabilizando de cierta manera el ambiente ruminal (Galindo et. al., 1982; Dschaak et. al., 2010), por lo tanto, es probable que hayan influenciado los componentes lácteos del anterior informe.

1.2.11. Influencia de las zeolitas naturales sobre la digestibilidad de la dieta

La digestibilidad de los componentes de la dieta es un factor determinante para lograr el óptimo desempeño en el comportamiento de los rumiantes. Para que dicho evento suceda de manera apropiada es necesario el adecuado funcionamiento del trabajo ruminal; respecto a lo anterior (Galindo et. al., 1982), indicaron que la celulolisis ruminal se ve beneficiada cuando en la dieta de los rumiantes están presente las zeolitas en proporción de 1 %, las cuales, han afectado favorablemente (Galindo et. al., 1984), la actividad específica del complejo de enzimas celulasa y el conteo total de protozoarios en 32 y 39 % respectivamente.

En el cuadro 7 se observa que Ghaemnia et. al., (2010), reportaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la digestibilidad de la FDN y la proteína cruda de corderos alimentados con 6 % de zeolitas en la dieta. Por su parte, Forouzani et. al., (2004), midieron el efecto de tres niveles de zeolita 0, 3 y 6 % en la dieta de ovinos. Los autores informaron que los coeficientes de digestibilidad de la MS y la PC fueron

afectados estadísticamente ($P < 0.05$) por los tratamientos con 3 y 6 %. A su vez, la digestibilidad de la FDN fue mayor ($P < 0.05$) con el nivel de 3 %.

Cuadro 7. Efecto de los tratamientos dietarios sobre la digestibilidad de nutrientes.

Variable	Zeolita (%)				EE
	0	3	6	9	
Digestibilidad, %					
MS	69.96 ^a	68.20 ^a	66.06 ^{ab}	64.41 ^b	1.24
PC	64.68 ^a	64.80 ^{ab}	67.04 ^{ab}	61.79 ^b	1.17
FDN	33.67 ^c	37.98 ^b	44.47 ^a	35.62 ^{bc}	1.05
FDA	34.52 ^a	31.84 ^{ab}	30.39 ^{ab}	24.47 ^c	1.13

Diferente literal dentro de la fila significa diferencia significativa ($P < 0.05$).

Con 5 % de clinoptilolita adicionada a la dieta de becerros y vaquillas en crecimiento, Sweeney et. al., (1980), mejoraron la digestibilidad del N, MO y FDA de la ración. Otro informe, este realizado por McCollum y Galyean (1983), donde alimentaron becerros en la fase de engorda con una dieta a base de 70 % de sorgo y clinoptilolita al 0, 1.25 y 2.5 % de la ración, indicaron que la digestibilidad en el tracto digestivo fue mejorada por la presencia de 1.25 % clinoptilolita.

Sin embargo, algunos reportes como el de Ruiz et. al., (2007), no encontraron diferencias significativas para la digestibilidad de algunos componentes de la dieta como MS, MO y FDA consumida por corderos que fueron suplementados con 0, 1.5, 3 y 4.5 % de zeolita en la dieta. La posible causa para esta disparidad de resultados la exponen Galindo et. al., (1990), pues indican que es importante el tipo de zeolita a suplementar en los rumiantes si se pretende mejorar la digestibilidad de algunos componentes como la celulosa; debe privilegiarse el uso de zeolitas que intercambian el magnesio por ser más beneficiosas, por el contrario, utilizar zeolitas que intercambien con preferencia el sodio, puede resultar perjudicial para la digestibilidad de la fracción fibrosa. Lo anterior se fundamenta por el hecho que el Mg^{++} y el Ca^{++} son los minerales que tienen mayor efecto en la digestión de la celulosa, ya que ambos iones minerales son imprescindibles para el crecimiento de

Bacteroides succinógenes, *Ruminococcus albus*, *R. flavefaciens* y *Butyrivibrio fibrisolvens*, que son especies de bacterias de alta actividad celulolítica (Stewart, 1977).

1.2.12. Influencia sobre los componentes dietarios en rumiantes. El estiércol es considerado un fertilizante de valor para los cultivos agrícolas, sin embargo, su valor disminuye con el tiempo debido a la pérdida de nitrógeno por volatilización del amoníaco, que a final de cuentas se convierten en fuente de contaminación causando enriquecimiento de nitrógeno, acidificación de suelos y superficies de agua (Sutton et. al., 1995). Ante esta realidad, la actividad ganadera ha sido señalada como un contribuyente considerable del fenómeno, y se ha estimado que la intensificación de la ganadería participa con el 80% de las emisiones anuales, ya que del estiércol se puede volatilizar hasta el 60% del nitrógeno presente en el (McCrory y Hobbs, 2001). Lo anterior plantea un dilema, ya que, del alimento generado por el sector agrícola, el 40% es de origen animal. Sin embargo, el beneficio que esto implica, algunos grupos ambientalistas consideran que la industria pecuaria tiene gran responsabilidad en el calentamiento global por la generación de contaminantes que son vertidos al suelo, agua y atmósfera. Ante esto, los gobiernos principalmente de los países industrializados y algunos en desarrollo, han establecido regulaciones sobre el uso, manejo y tratamiento de excretas ganaderas para que su impacto ambiental sea el menor posible (Pino-Rodríguez et. al., 2012). Ya que la realidad muestra, las grandes cantidades de nutrientes que son eliminadas al ambiente en la orina y heces, que en el caso del nitrógeno, 80 a 90 % del presente en el alimento del ganado de engorda es excretado en heces y orina, conduciendo a que del 25 a 60 % pueda volatilizarse de la superficie de los corrales como N- NH₃ (Cole et. al., 2007). Por esta razón, en países desarrollados la producción agropecuaria es considerada como una de las principales actividades productivas responsables de la contaminación difusa de cursos de agua, debido a que genera el enriquecimiento de éstas con elementos provenientes de las heces de los animales de granja, principalmente N y P, además de propiciar contaminación biológica con patógenos. Por ello, en países de Europa occidental se ha estimado que entre un 37 y 82% del N

y un 27 a 38 % del P que llega a las aguas proviene de actividades agropecuarias. Esto se acentúa cuando existe una alta correlación entre la intensidad de producción del sistema ganadero, representado por alto número de animales por unidad de superficie y los niveles de eutroficación de los cursos de agua (Alfaro y Salazar, 2005).

Aunque las diferentes especies de zeolitas difieren en la selectividad hacia diferentes cationes, la clinoptilolita ha demostrado su afinidad hacia el NH_4^+ , por tal razón se ha utilizado como aditivo tanto en el alimento de los animales, como en los desechos de los mismos (Mumpton y Fishman, 1977). Datos más recientes demostraron que la clinoptilolita en proporción de 1 a 4 % finamente molida redujo la emisión de N-NH_3 procedente de estiércol de ganado lechero en 60 % (McCrorry y Hobbs, 2001). De igual forma, Nakaue et. al., (1981) en dos experimentos por separado evaluó la clinoptilolita primero como aditivo aplicado a los desechos de pollos de engorda y después como aditivo alimenticio para los mismos. Los resultados obtenidos mostraron que la aplicación de 5 kg m^{-2} directo en los desechos de pollos podría reducir la concentración aérea de NH_3 por más 35 %, mientras que la incorporación de 10 % de zeolita mezclado en el alimento de las aves redujo 8 % la concentración aérea de amoníaco. Nakaue et. al., (1981), buscaron controlar el nivel de gases amoniacales en heces de aves, logrando lo anterior al administrar clinoptilolita en un 10% de la dieta de pollos de engorda. En este mismo sentido Lonwo et. al., (2010), reportaron 97% menos amoníaco en las heces de gallinas ponedoras alimentadas con 3% de zeolita.

1.3. CONCLUSION GENERAL

Dados los conocimientos generados por la comunidad científica hasta el presente año (2017), se observa que la cantidad y profundidad del conocimiento no es suficiente, por lo que la pertinencia de los trabajos realizados en la presente tesis se vuelven relevantes con la contribución en los aspectos de características de la canal y composición tisular en ovinos de pelo finalizados con dietas conteniendo diferentes niveles de clinoptilolita (zeolita).

**CAPITULO 2. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE ZEOLITA
(CLINOPTILOLITA) EN OVINOS EN ETAPA DE FINALIZACIÓN:
RESPUESTA PRODUCTIVA Y ENERGÉTICA DE LA DIETA**

ARTICULO 1

**Efecto de la inclusión de zeolita (clinoptilolita) en ovinos en etapa de
finalización: Respuesta productiva y energética de la dieta**

**Effect of zeolite inclusion for finishing feedlot lambs: Growth performance and
dietary energetics**

Estrada-Angulo, A.¹, F. Coronel-Burgos¹, B. I. Castro-Pérez¹, M. A. López-Soto²,
A. Barreras², C. Angulo-Montoya¹, G. Contreras-Pérez¹ y A. Plascencia².

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa,
México

² Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja
California, México

Artículo publicado en Archivos de Zootecnia.

2017-66:381-386

Issn: 1885-4494

Journal website:

<https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/>

indizada: JCR-Thompson Reuters (ISI)

Correspondencia a los autores/Contact email:

alejandro.plascencia@uabc.edu.mx

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles (0, 1,5, 3 y 4,5%) de zeolita en dietas integrales de finalización sobre la respuesta productiva y la eficiencia en la utilización de la energía neta de la dieta de ovinos de pelo. Para lo anterior, 40 ovinos machos³/₄Katahdin×¹/₄Pelibuey (peso inicial = 32,28±2,34 kg) se asignaron a 20 corraletas (2 ovinos/corraleta, 5 corrales/tratamiento) alimentándose durante 75 días con alguno de los 4 tratamientos. Las dietas ofrecidas fueron tipo integral. La dieta testigo (sin zeolita) contenía 16,51% de proteína cruda (PC) y 1,39 Mcal EN_g/kg y la cantidad total de zeolita incluida en cada tratamiento sustituyó al maíz y a la pasta de soja en partes iguales. Por cada nivel de sustitución del maíz-pasta de soja se disminuyó la concentración de PC en 0,11 puntos porcentuales y la energía neta en 0,03 Mcal/kg. El sustituir maíz y pasta de soja por zeolita hasta un nivel de 1,5 % en la dieta no afectó el consumo de materia seca (MS), la ganancia diaria, la eficiencia alimenticia, la utilización de la energía neta de la dieta (EN observada sobre la EN esperada) o la retención aparente de energía por unidad de MS consumida. El aumentar a el nivel de suplementación de zeolita por encima de 1,5% incrementó la eficiencia alimenticia, la utilización de la energía neta de la dieta y la retención aparente de energía por unidad de MS consumida siendo la respuesta máxima para el nivel de inclusión de 3% (componente cuadrático, $p < 0,01$). Con respecto al grupo testigo, la inclusión de 3% de zeolita a la dieta mejoró ($p < 0,01$) en 6,8% la eficiencia alimenticia, en 8,4% la utilización de la energía neta de la dieta y en 8,9% la retención aparente de energía por unidad de MS consumida. La inclusión de zeolita por encima de 1,5% a dieta de finalización mejora la utilización de la energía neta de la dieta. En base al rendimiento productivo y la eficiencia en la utilización de la energía neta de la dieta, la respuesta óptima observada para los corderos en el presente estudio fue con el 3% de inclusión de zeolita.

PALABRAS CLAVES ADICIONALES: Borregos de pelo. Zeolita. Eficiencia energética. Dieta de finalización.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of different supplemental levels (0, 1.5, 3 and 4.5%) of zeolite in in total mixed finishing diets on the productive response and on efficiency of using dietary net energy in hairy lambs. For this, 40 lambs $\frac{3}{4}$ Katahdin \times $\frac{1}{4}$ Pelibuey (initial weight = 32, 28 \pm 2, 34 kg) were assigned to 20 pens (2 lambs/pen, 5 pens/treatment) and were feeding for 75 days with one of the four treatments. Control diet (no supplemental zeolite) contained 16,51% CP and 1,39 Mcal NE_g/kg, and the total quantity of zeolite included replaces corn and soybean meal in equal parts. For each level of which corn and soybean meal were substituted, CP concentration decreased 0,11 percentage points and net energy decreased 0,03 Mcal NE_g/kg. The partially replace of corn and soybean meal by zeolite to a level of 1,5% in the diet did not affect DM intake, daily gain, feed efficiency, dietary net energy (observed-to- expected diet NE) or the apparent energy retention per unit of dry matter intake (DMI). Increasing the level of zeolite supplementation above of 1,5%, increased feed efficiency, dietary net energy and apparent energy retention per unit of DMI averaging 4.5, 6.4 and 7,4%; respectively, being maximal response for inclusion level of 3% (quadratic component, $p < 0.01$). Compared with controls, the inclusion of 3% of zeolite to the diet improved ($p < 0, 01$) 6, 8% feed efficiency, 8, 4% dietary net energy, and 8, 9% the apparent energy retention per unit of DMI. The use of zeolite in finishing diets improves the utilization of dietary net energy. Based on growth performance and on efficiency of utilization of dietary net energy, the optimal response observed for lambs in the present study was to the level of 3% of zeolite inclusion.

ADDITIONAL KEYWORDS: Hairy sheep. Zeolite. Energy efficiency. Finishing diet.

INTRODUCCIÓN

Las zeolitas naturales son una familia mineral de origen volcánico constituida por aluminosilicatos hidratados de estructura tetraédrica de forma tridimensional que se interconectan por compartir átomos de oxígeno, esta característica molecular genera la formación de canales y cavidades bien definidos (Mumpton y Fishman, 1977; Ostrooumov, 2002) con gran capacidad de intercambio de agua y cationes (Inglezakis y Zorpas, 2012). La clinoptilolita cálcica es la zeolita natural más abundante y debido a su gran capacidad de intercambio catiónico es ampliamente utilizada en la agricultura. Por sus características adsorbentes, que modifican la viscosidad de los fluidos (Spotti et. al., 2005), y su gran afinidad para retener y liberar nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$), las zeolitas son prometedoras como aplicación en aditivos alimenticios para rumiantes (Mumpton y Fishman, 1977) ya que estos efectos pueden favorecer la eficiencia de la fermentación ruminal y la absorción de nutrimentos, reflejándose en una mayor eficiencia en la utilización de la energía neta aparente de la dieta. Sin embargo, los efectos sobre la utilización de nutrimentos y de respuesta productiva en rumiantes suplementados con zeolitas son inconsistentes ya que en varios estudios se ha informado de respuestas positivas (Pond, 1984; Ghaemnia et. al., 2010; Goodarzi y Nanekarani, 2012), mientras que en otros, no se han observado ventajas, o incluso, se informan resultados negativos cuando las zeolitas son utilizadas (Galyean y Chabot, 1981; Sherwood et. al., 2005). Las razones para la inconsistencia de los resultados pueden deberse, en parte, por el nivel de zeolita utilizado (McCollum y Galyean, 1983) y por la composición de la dieta empleada (Pond, 1989). La mayoría de los informes con resultados positivos son en dietas de moderadas a bajas en contenido de energía suplementadas con zeolita en un rango de 1 a 5% de la materia seca (Ghaemnia et. al., 2010; Goodarzi y Nanekarani, 2012; Ural, 2014); mientras que, la información sobre la respuesta al uso de zeolitas en rumiantes consumiendo dietas de finalización altas en energía es limitada. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles de una zeolita natural (clinoptilolita) sobre la respuesta productiva y la eficiencia en la utilización de la energía neta aparente de la dieta de ovinos en fase de finalización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la “Unidad Experimental para Engorda de Pequeños Rumiantes” ubicado en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado en Culiacán, México (24°46'13" N and 107°21' 14"W) situado a 55 m sobre el nivel del mar y con clima tropical.

Todos los procedimientos de manejo de animales se realizaron dentro de las pautas de técnicas aprobadas nacionalmente para el uso y cuidado de animales (NOM-051-ZOO-1995: para el cuidado humanitario de los animales durante la movilización de animales; NOM-062-ZOO-1999: Especificaciones técnicas para el cuidado y uso de animales de laboratorio granjas de ganado, granjas, centros de producción, reproducción y cría, zoológicos y sala de exposiciones, deben cumplir con los principios básicos de bienestar de los animales; NOM-024-ZOO-1995: estipulaciones de salud animal y características zoonosológicas durante el transporte de animales).

Para valorar el efecto de la suplementación de zeolita sobre el comportamiento productivo y la eficiencia en la utilización de la energía neta aparente de la dieta en corderos alimentados con dietas de finalización se utilizaron 40 ovinos machos enteros cruzados de las razas $\frac{3}{4}$ Katahdin \times $\frac{1}{4}$ Pelibuey (peso vivo promedio = 32.28 ± 2.34 kg) en una prueba de rendimiento productivo con duración de 75 días. Cuatro semanas antes del inicio del experimento los corderos fueron tratados vía oral para endo y exoparásitos (2.5 mg/kg PV, Closantel®5%, Panavet de México), inyectados con 1×10^6 UI de vitamina A (Synth-AD®, Fort Dodge, de Sanidad Animal, México) y se iniciaron en la adaptación a la dieta de finalización (sin zeolita). Los corderos se pesaron al inicio del experimento (báscula electrónica; TORREY TIL/S: 107 2691, TORREY electronics Inc., Houston, TX, USA). El peso inicial se analizó colateralmente en el análisis estadístico de aplicación del programa SAS, resultando significativo ($p < 0.001$), corroborando la necesidad de considerarlo en el modelo como fuente de variación (bloque) para evaluar limpiamente los efectos medios de los tratamientos como única hipótesis estadística a evaluar. De tal forma se conformaron 5 bloques (grupos) de peso distribuyéndose los 40 borregos en 20 corraletas (2 borregos por corraleta con 5 repeticiones por tratamiento) de 2x3 m

completamente sombreadas con bebedero automático y comedero en línea. Los tratamientos consistieron en adicionar a una dieta de finalización tipo integral (dieta totalmente mezclada en mezclador horizontal cap. 1400 kg, H.C. Davis Sons Manufacturers, mod. MD-5, Bonner Springs, KS, USA) formulada en base a maíz quebrado (proporción forraje:concentrado de 9:91) cuatro niveles de zeolita (Tabla I) sustituyendo parcialmente al maíz y a la pasta de soja de la siguiente manera: 1) Dieta testigo, sin zeolita, 2) 1,5% de zeolita sustituyendo 0,75% de maíz y 0,75% de pasta de soja, 3) 3% de zeolita sustituyendo 1,5% de maíz y 1,5% de pasta de soja y 4) 4,5% de zeolita sustituyendo 2,25% de maíz y 2,25% de pasta de soja. La fuente de zeolita utilizada fue clinoptilolita cálcica (ZEO-SIL; Grupo TCDN, Puebla, México). Previo a la incorporación a las dietas, la zeolita se mezcló con elementos menores (urea, roca caliza y sal mineralizada) para finalmente incorporarse como tercer paso de mezclado en la elaboración de las dietas experimentales que contuvieron zeolita. Los corderos tuvieron acceso libre a las dietas experimentales ajustándose el ofrecido para tener un mínimo de rechazo (<5% del total ofrecido) en comedero. El alimento se ofreció 2 veces al día (a las 0800 y 1400 h) en una proporción aproximada de 30:70 de lo consumido diariamente, 15 minutos previos al suministro matutino de alimento se revisaron visualmente los comederos, de existir alimento rechazado se recogió y se pesó y el consumo se registró diariamente. Los ajustes de consumo diario (incremento o disminución de la cantidad ofrecida) se realizaron en el alimento ofrecido de la tarde del día siguiente. A las dietas experimentales se les realizaron las siguientes determinaciones: Materia seca (MS, secado al horno a 105 ° C hasta peso constante; método 930.15; AOAC, 2000); proteína cruda (PC, N x 6.25, método 984.13; AOAC, 2000); cenizas (método 942.05; AOAC, 2000); fibra detergente neutro (FDN, Van Soest et al, 1991, corregido para cenizas) y extracto etéreo (método 920.39; AOAC, 2000).

Para efecto de la estimación del rendimiento productivo (ganancia y eficiencia alimenticia) y la estimación de la energía neta observada de la dieta, el peso vivo inicial se multiplicó por el coeficiente 0.96 para ajustar el relleno gastrointestinal (PV mermado, Cannas *et. al.*, 2004), y para el registro del peso final a todos los corderos se les retiró el alimento (el agua potable no fue retirada) durante 18 h antes de

registrar el peso final. El promedio de la ganancia diaria de peso (GDP) se estimó como sigue: $(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})/75$. La eficiencia alimenticia se calculó dividiendo la GDP entre el promedio de consumo diario de MS. El consumo esperado de MS para cada uno de los tratamientos se estimó mediante las siguientes ecuaciones (NRC, 2007; Estrada *et. al.*, 2013):

ZEOL-0: Consumo MS esperado, kg/d = $(0,056 \times PV^{0.75} / 2,04) + (0,276 \times \text{GDP} \times PV^{0.75} / 1,39)$.

ZEOL-1,5: Consumo MS esperado, kg/d = $(0,056 \times PV^{0.75} / 2,01) + (0,276 \times \text{GDP} \times PV^{0.75} / 1,37)$

ZEOL-3: Consumo MS esperado, kg/d = $(0,056 \times PV^{0.75} / 1,98) + (0,276 \times \text{GDP} \times PV^{0.75} / 1,35)$,

ZEOL-4,5: Consumo MS esperado, kg/d = $(0,056 \times PV^{0.75} / 1,95) + (0,276 \times \text{GDP} \times PV^{0.75} / 1,33)$.

Donde los valores expresados en el numerador corresponden a los requerimientos de energía para mantenimiento y ganancia, y los valores expresados en el denominador representan la concentración energética de cada una de las dietas (Cuadro 1). El coeficiente (0,276) se estimó para el peso adulto de 113 kg para corderos Kathadin \times Pelibuey (NRC, 1985; Estrada-Angulo *et. al.*, 2013). La EN observada para las dietas se estimó por medio de la fórmula cuadrática: $x = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$, donde $x = EN_m$ (Mcal/kg), $a = -0,41EM$, $b = 0,877EM + 0,41CMS + EG$, y $c = -0,877CMS$ (Zinn y Shen, 1998). Donde, $EM = 0,056 \times W^{0.75}$, $EG = 0,276 \times \text{GDP} \times PV^{0.75}$ y $CMS =$ promedio de consumo de MS, kg/d (NRC, 1985; Estrada *et. al.*, 2013).

El comportamiento productivo (consumo de MS, GDP, eficiencia alimenticia) y la eficiencia en la utilización de la energía de la dieta (EN observada de la dieta, la relación EN observada/esperada, y el consumo esperado de MS) se analizaron, utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC; Versión 9.3), como un diseño de bloques completos al azar considerado al peso inicial como criterio de bloqueo y a la corraleta como la unidad experimental. Los efectos del tratamiento fueron probados para componentes lineales, cuadráticas y cúbicas del nivel de suplementación ZEOL (SAS Inst., Inc., Cary, NC; Versión 9.3). Los

polinomios ortogonales se consideraron significativos cuando el valor de p fue ≤ 0.05 , y se identificaron las tendencias cuando el valor de p fue $>0,05$ y $\leq 0,10$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que el efecto cubico no fue significativo ($p>0.10$) en ninguna de las variables evaluadas, se omitió el valor de significancia para ese componente.

De acuerdo con el análisis proporcionado por la empresa ZEOSIL (Grupo TCDN, Puebla, México) la zeolita utilizada en este experimento (depósito de San Juan Raya, región de Puebla; Puebla, México), estaba compuesta (g / kg de producto) de SiO_2 (662), Al_2O_3 (146), y CaO (27.3), concordando con la composición mineral de la zeolita natural (clinoptilolita-Ca) informado por EFSA (2013) y por Shadrikov y Petukhov (2014).

Los resultados del comportamiento productivo y de la eficiencia en la utilización de la EN de la dieta se muestran en el cuadro 2. La adición de zeolita no afectó el consumo de MS ($p>0,73$) ni la ganancia diaria ($p\geq 0,15$); sin embargo, como resultado de un incremento numérico (5.5%, $p=0,15$) en la ganancia diaria con el nivel de 3% de ZEOL, se mejoró (componente cuadrático, $p<0,01$) la eficiencia en la ganancia (ganancia/consumo) con este tratamiento.

El comportamiento productivo observado para el grupo control (sin zeolita) concuerda con los informados en otros estudios en los cuales utilizaron raza, peso inicial y dietas similares a las utilizadas en este experimento. Ganancias diarias (rango de 0,230 a 0.291 kg/d), consumos de MS (rango de 0,230 a 0.291 kg/d) y eficiencias (rango de 0,180 a 0.210) similares a lo observado para el grupo control en este experimento se han informado para machos enteros cruzados de las razas Katahdin x Pelibuey consumiendo dietas de finalización libres de zeolita o de algún otro tipo de aditivo y con un contenido energético de 1.90 a 2.10 Mcal/kg de EN para mantenimiento (López-Carlos et. al., 2011; Ríos et. al., 2010, 2014; Estrada et. al., 2013, 2016). Por otra parte, la información sobre la respuesta productiva de borregos consumiendo dietas de finalización suplementadas con zeolitas es escasa. Aun así, estudios previos en ganado bovino han mostrado que la ingesta de alimento no se ve afectado por la inclusión de hasta 5% de zeolita en dietas con bajo (Delgado *et. al.*,

1996) y moderado (Pulido y Fehring, 2004) contenido de energía. En cambio, en ovinos en finalización suplementados con zeolitas los resultados han sido inconsistentes. Por ejemplo, en un primer experimento (Pond, 1984) la adición de zeolita no afectó el consumo de MS de los corderos pero mejoró la ganancia diaria. Mientras que en un segundo experimento (Pond, 1989) la adición de 2% de zeolita a una dieta de finalización con 14% PC se reflejó en un incremento de consumo de MS acompañado de un aumento de la ganancia diaria de peso, mientras que con un nivel de 9% de PC en la dieta la suplementación con zeolita tuvo un efecto negativo sobre el comportamiento productivo.

Como resultado de la dilución energética de la dieta como consecuencia de la adición de zeolita, podría esperarse un ligero incremento en el consumo; sin embargo, por las propiedades adsorbentes, que modifican la viscosidad de los fluidos, la zeolita (Spotti *et al.* 2005) podría disminuir la tasa de pasaje lo que se traduciría en un efecto compensatorio en la regulación del consumo. Como resultado de la característica inerte (no contiene materia que aporte energía) de la zeolita, por cada nivel de sustitución del maíz-pasta de soja se disminuyó la concentración de PC en 0,11 puntos porcentuales y la energía neta en 0,03 Mcal/kg (Tabla I). Aun así, el rendimiento productivo no se vio afectado negativamente por la inclusión de zeolita. El hecho que la respuesta productiva de los ovinos no se afectara por el menor aporte de nutrientes en respuesta a cada incremento del nivel de zeolita puede estar relacionado con el uso más eficiente de algunos componentes de la dieta. Sadeghi y Shawrang (2006) reportaron una mayor digestión de las fracciones de fibra cuando 3 % de zeolita fue incluida en la dieta. De la misma manera, Ruíz *et al.* (2008) observaron una mayor digestión de la fibra ácido detergente en el ganado bajo tratamiento con zeolita con respecto al grupo control. Lo anterior, pudo expresarse con una mayor eficiencia alimenticia (ganancia/consumo) cuando los niveles de zeolita fueron por encima de 1,5% de la dieta. La forma más común de realizar evaluaciones de los efectos del tratamiento sobre la eficacia de la dieta se basan únicamente en la "conversión alimenticia" (consumo/ganancia) o en la "eficiencia de ganancia" (consumo/ganancia). Calculado a través de estas relaciones, la evaluación del valor alimenticio comparativo se confunde con el consumo de alimento y la

ganancia. Basado en las medidas de rendimiento del crecimiento se puede predecir con bastante precisión (Cannas *et. al.*, 2004; NRC, 2007) la ingesta requerida de energía, y conociendo la composición de la dieta (el aporte teórico de energía), es posible predecir el consumo esperado de MS. La relación de consumo esperado vs observado revela diferencias en la eficiencia con independencia de la ganancia de peso, proporcionando información importante sobre los posibles efectos del tratamiento sobre la eficiencia de utilización de la energía de la dieta en sí, y son una aplicación importante y práctica que contemplan las normas actuales de la energética en la investigación nutricional (Zinn *et. al.*, 2008). De esta manera, cuando el coeficiente de EN observado-a-esperado es 1,00, significa que el comportamiento correspondió con el consumo de energía neta que teóricamente contenía la dieta, mientras que coeficientes por encima de 1,00 (v.gr. 1.04) indican que existió una mayor eficiencia en la utilización de la energía neta que teóricamente contenía la dieta. Cuando se estima el coeficiente de consumo esperado vs consumo observado, la interpretación del coeficiente es exactamente lo opuesto. Valores por debajo de 1,00 significa mayor retención de energía por unidad de MS consumida (menor cantidad de unidades de MS requeridas para un rendimiento productivo dado). En ese sentido, el grupo control y la sustitución con 1,5% de zeolita no modificaron el coeficiente de EN observada sobre la EN esperada de la dieta (coeficientes de 0,98 y 0,99 para inclusiones de 0 y 1,5%, respectivamente), ni se modificó el coeficiente de unidades de MS requerida para ganancia (1,02 para inclusiones de 0 y 1,5%; respectivamente, Tabla II). Sin embargo, cuando el nivel de zeolita se incrementó por encima de 1,5%, el coeficiente se aumentó en promedio en 5,5% y se redujo en 7,4% el coeficiente de unidades de MS requerida para ganancia; siendo el valor máximo (componente cuadrático, $p < 0.01$) para nivel de 3% de suplementación. En este experimento, el aumento del valor de la EN de la dieta y las reducciones del coeficiente de consumo de MS esperado vs observado a altos niveles de zeolita mostraron que la suplementación de zeolita a niveles mayores del 1,5% mostró efectos positivos independientes de la composición química de la dieta. En experimentos previos en los cuales se utilizó la zeolita como aditivo alimenticio hasta en 4% en dietas altas en energía se detectaron cambios en la proporción de AGV en el rumen,

incrementándose la proporción de propionato y disminuyéndose la proporción de acetato y de metano durante el proceso fermentativo (Galyean y Chabot, 1981; McCollum y Galyean, 1983). Más recientemente Urías-Estrada *et al.* (2016) demostraron una mejor utilización del almidón con una mayor proporción de propionato con la disminución de la proporción acetato:propionato y una menor producción estimada de metano favoreciendo la eficiencia energética.

Como resultado de la afinidad de las zeolitas por los cationes de NH-N, en experimentos donde se ha probado la zeolita con resultados positivos en dietas de moderadas a bajas en energía (> 45% de forraje en la dieta) se le ha atribuido respuesta positiva a una mejor retención del N. Datos in vivo e in vitro mostraron que hasta un 15 por ciento del NH₄⁺ en el rumen puede ser absorbido por la zeolita (Mumpton y Fishman, 1977). Sin embargo, este efecto no ha sido significativo en dietas con alto contenido de energía (McCollum y Galyean, 1983; Urías-Estrada *et al.*, 2015). Por lo tanto, para este tipo de dietas, el efecto de la zeolita sobre la mejora en la eficiencia energética de la dieta debe estar más relacionado con la mejora en tasas de fermentación ruminal y la utilización del almidón y de la materia orgánica.

CONCLUSIONES

El sustituir parcialmente la pasta de soja por zeolita hasta un nivel de 1,5 % en la dieta de ovinos de pelo no afectó negativamente el consumo de MS, la eficiencia alimenticia y la utilización aparente de la energía neta de la dieta. Al incrementar el nivel de suplementación por encima de 1,5% se mejoró la eficiencia alimenticia y la utilización aparente de la energía neta de la dieta, observándose un mayor efecto positivo con el nivel de inclusión de 3%. Con respecto al grupo testigo, el 3% de inclusión de zeolita a la dieta mejoró en 6,8% la eficiencia alimenticia y en 8,4% la utilización aparente de la energía neta de la dieta.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 2000. Official Methods of Análisis.17th edition. Association of Official Analytical Chemists.Gaithersburg, M.D. USA.
- Cannas, A.;Tedeschi, L.O.; Fox, D.G.; Pell, A.N. and Van Soest, P.J. 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. AnimSci*,82: 149-169.
- 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. *Rev. Cubana Cs. Agr*,1996:30:265.
- EFSA. 2013. Scientific Opinion on the safety and efficacy of clinoptilolite of sedimentary origin for all animal species.EuropeanFood Safety Authority. *EFSA Journal*,11: 3039-3052.
- Estrada-Angulo, A.; Valdés, Y.S.;Carrillo-Muro, O.;Castro-Pérez. B.I.;Barreras, A.; López-Soto, M.A.; Plascencia, A.; Dávila-Ramos, H.;Rios, F.G. andZinn, R.A. 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.
- Estrada-Angulo, A.; López-Soto, M.A.; Rivera-Méndez, C.R.; Castro-Pérez, B.I.; F.G. Ríos, F.G.; Dávila-Ramos, H.; Barreras, A.; Urías-Estrada,J.D.;Zinn, R.A. and Plascencia, A. 2016.Effects of combining feed grade urea and a slow-release urea product on performance, dietary energetics and carcass characteristics of feedlot lambs fed finishing diets with different starch to acid detergent fibre ratios. *Asian-Australas. J. Anim. Sci*, 29: 1725-1733.
- Galyean, M.L. and Chabot, R.C.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.

- Ghaemnia, L.;Bojarpour,M.;Mirzadeh, K.H.;Chaji,M. andEslami, M. 2010. Effect of different levels of zeolite on digestibility and some blood parameters in Arabic lambs. *J. Anim. Vet.Adv*, 9: 779-781.
- Goodarzi, M. andNanekarani, S. 2012. The effects of calcic and potassicclinoptilolite on ruminal parameters in Lori breed sheep. *APCBEE Procedia*, 4:140–145.
- Inglezakis, V.J. andZorpas, A. 2012. Natural zeolites structure and porosity. In 'Handbook of natural zeolites'. Inglezakis, V.J. and A.Zorpas (Ed). Bentham Science Publisher. Sharjah UAE. Pp. 133-146.
- López-Carlos, M.A.; Ramírez, R.G.; Aguilera-Soto, J.I.; Aréchiga, C.F.; Plascencia, A.; Rincón, R.M.; Medina-Flores, C.A.; Rodríguez, H. and Gutiérrez-Bañuelos, H. 2011. Effect of duration of feeding zilpaterol or ractopamine on feedlot performance and carcass characteristics lambs. *Livestock Sci*, 138:251-258.
- McCollum, F. T. andGalyean, M. L. 1983. Effects of Clinoptilolite on Rumen Fermentation, Digestion and Feedlot Performance in Beef Steers Fed High Concentrate Diets. *J Anim. Sci*, 56:3. 517-523.
- Mumpton, F. A. 1999. La Roca Mágica: Uses of Natural Zeolites in Agriculture and Industry. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 96.Pp. 3463-3470.
- Mumpton, F. A. and Fishman, P.H. 1977. The application of Natural Zeolites in Animal Science and Acquaculture.*J. Anim. Sci*, 45:1188-1203.
- NOM-051-ZOO-1995.Trato humanitario en la movilización de animales; 1995. Disponible en:<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2007/CDAgropecuaria/pdf/47NOM.pdf>. Accesado marzo 11 2015.

NOM-024-ZOO-1995: Estipulaciones de salud animal y características zoosanitarias durante el transporte de animales. 1995. Disponible en: http://198.61.233.93:8080/web/a_paginas/a_pdf/024_zoo.pdf. Accesado marzo 11 2015.

NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio; 1999. Disponible en: <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/062ZOO.PDF>. Accesado marzo 11, 2015.

NRC.1985. National Research Council. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Sheep. Sixth Revised Edition, National Academy of Sciences, Washington, D.C. USA.

NRC.2007. National Research Council. Nutrient Requirements of Small Ruminants sheep, goats, cervids, and new world camelids. The National Academic Press Washington, D.C. USA.

Ostrooumov, M. 2002. Zeolitas de México: Diversidad Mineralógica y Aplicaciones. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Disponible en: http://mineralog.net/Articulos_electronicos/zeolitasMéxico.pdf. Accesado el 25 de febrero de 2016.

Pond, W.G. 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, W.G. 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.

- Pulido, R. G. and Fehring, A. 2004. Efecto de la adición de una Zeolita natural sobre la respuesta productiva de terneras de lechería, postdestete. *Arch. Med. Vet.*, 36:197-201.
- Ríos-Rincón, F.G.; Barreras-Serrano, A.; Estrada-Angulo, A.; Obregón, J.F.; Plascencia-Jorquera, A.; Portillo-Loera, J.J. and Zinn, R.A. 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.
- Ríos-Rincón, F.G.; Dávila-Ramos, H.; Estrada-Angulo, A.; Plascencia, A.; López-Soto, M.A.; Castro-Perez, B.I.; Calderón-Cortes, J. F.; Portillo-Loera, J.J. and Robles-Estrada, J.C. 2014. Influence of protein and energy level on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of feedlot hair lambs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 27:55-60.
- Ruíz, O.; Castillo, Y.; Elías, A.; Arzola, C.; Rodríguez, C.; Salinas, J.; La O, O. and Olguín, 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. *Rev. Cubana. Cs. Agr.*, 42:367-370.
- Sadeghi, A. A. and Shawrang, P. 2006. The effect of natural zeolite on nutrient digestibility, carcass traits and performance of Holstein steers given a diet containing urea. *Anim. Sci.*, 82: 163-167.
- SAS. 2007 SAS/STAT: user's Guide: Statistics. Release 9.3. SAS Institute Inc.: Cary, NC.
- Shadrikov, A.S. and Petukhov, A.D. 2014. Natural zeolite-clinoptilolite characteristics determination and modification. National Tech University Ukraine. Technical Report. pp. 162-167 (UDC 544.02+546.05).

- Sherwood, D.M.; Erickson, G.E. and Klopfenstein, T.J. 2005. Effect of clinoptilolite zeolite on cattle performance and nitrogen volatilization loss. Nebraska Beef Cattle Reports. Paper 177.
- Spotti, M.;Fracchiola, M.L.;Arioli, F.;Canoni, F. and Pompa, G.2005. Aflatoxin B₁ binding to sorbents in bovine ruminal fluid. Vet. Res.Commun, 29: 507-515.
- Urías-Estrada, J.A.; López-Soto, M.A.; Barreras, A.; Aguilar-Hernández, J.A.; González-Vizcarra, V.M.; Estrada-Angulo, A.; Zinn, R.A.; Mendoza, G.D. and Plascencia, A. 2016.Influence of zeolite (clinoptilolite) supplementation on characteristics of digestion and ruminal fermentation of steers fed a steam-flaked corn-based finishing diet. Anim. Prod. Sci, <http://www.publish.csiro.au/AN/justaccepted/AN16128>.
- Ural, D. A. 2014. La eficacia de la suplementación de clinoptilolita sobre la producción de leche y el recuento de células somáticas. Rev. MVZ Córdoba,19:4442-4448.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. and Lewis, B.A.1991.Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci*,74:3583–3597.
- Zinn, R. A. and Shen, Y. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci*,76: 1280-1289.
- Zinn, R.A.; Barreras, A.; Owens, F.N. and Plascencia, A. 2008.Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. *J. Anim. Sci*, 86:1-10.

Cuadro 8. Ingredientes y composición química de las dietas integrales utilizadas (ingredients and chemical composition of total mixed diets utilized)

Concepto	Nivel de zeolita, % MS			
	0	1.5	3.0	4.5
Composición del ingrediente, % MS				
Maíz quebrado	60,50	59,75	59,00	58,25
Pasta de soja	16,00	15,25	14,50	13,75
Heno de Sudán molido	9,00	9,00	9,00	9,00
Zeolita (Clinoptilolita)*	0,00	1,50	3,00	4,50
Grasa animal	2,00	2,00	2,00	2,00
Sal mineralizada [†]	2,50	2,50	2,50	2,50
Melaza de caña	10,00	10,00	10,00	10,00
Concentración de energía, Mcal/kg de MS [‡]				
EN _m , Mcal/kg	2,04	2,01	1,98	1,95
EN _g , Mcal/kg	1,39	1,37	1,35	1,33
Composición de nutrientes, % MS				
Proteína cruda	16,51	16,11	15,71	15,30
Extracto etéreo	5,27	5,22	5,17	5,11
Fibra detergente neutro	14,85	14,66	14,47	14,27
Cenizas	6,88	8,42	9,96	11,49

* Clinoptilolita cálcica (Zeo-Sil, Grupo TCDN, Puebla, Puebla);[†] contenido mineral de la sal mineralizada: CoSO₄, 0,068%; CuSO₄, 1,04%; FeSO₄, 3,57%; ZnO, 1,24%; MnSO₄, 1,07%, KI 0,052% y NaCl, 92,96%;[‡] calculada a través de los valores tabulares expresados en el NRC (2007)

Cuadro 9. Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre el rendimiento productivo y utilización aparente de la energía neta de la dieta (Influence of zeolite supplementation level on growth performance and apparent dietary net energy).

Concepto	Zeolita en dieta, %				SEM	Valor de p*	
	0	1,5	3	4,5		L	C
Réplicas	5	5	5	5			
Días en prueba	75	75	75	75			
Peso, kg							
Inicial	33,38	33,63	33,82	33,68	0,107	0,48	0,87
Final	54,18	53,93	55,58	54,20	1,03	0,22	0,72
Consumo de MS, kg/d	1,440	1,425	1,406	1,410	0,073	0,74	0,90
Ganancia diaria, kg/d	0,277	0,271	0,290	0,274	0,013	0,74	0,15
Eficiencia, kg/kg	0,192 ^a	0,190 ^a	0,206 ^b	0,194 ^a	0,008	0,84	0,01
EN de la dieta, Mcal/kg							
Mantenimiento	2,01 ^a	2,00 ^a	2,13 ^b	2,03 ^a	0,020	0,16	<0,01
Ganancia	1,35 ^a	1,34 ^a	1,46 ^a	1,37 ^a	0,018	0,16	<0,01
EN (observado/esperado)							
Mantenimiento	0,98 ^a	0,99 ^a	1,07 ^b	1,03 ^a	0,012	0,16	<0,01
Ganancia	0,98 ^a	0,99 ^a	1,07 ^a	1,03 ^a	0,016	0,16	<0,01
Consumo diario de MS							
(observado/esperado)	1,02 ^a	1,01 ^a	0,93 ^b	0,98 ^a	0,015	0,16	<0,01

Superíndices diferentes en hileras difieren ($p < 0.05$); * $p =$ Nivel de significancia observado para el efecto lineal y cuadrático de nivel de suplementación de zeolita.

CAPÍTULO 3. INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL MAÍZ Y DE LA PASTA DE SOJA POR ZEOLITA EN OVINOS EN ETAPA DE FINALIZACIÓN: CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL, COMPOSICIÓN TISULAR Y MASA VISCERAL

ARTICULO 2

Influencia de la sustitución parcial del maíz y de la pasta de soja por zeolita en ovinos en etapa de finalización: Características de la canal, composición tisular y masa visceral

Influence of partially replacement of corn and soybean meal by zeolite for finishing feedlot lambs: carcass traits, tissue composition and visceral mass

Coronel-Burgos, F.¹, A. Plascencia^{2@}, B. I. Castro-Pérez¹, G. Contreras-Pérez¹, A. Barreras², A. Estrada-Angulo^{1@}

1 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa, México

² Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California, México

Artículo publicado en Archivos de Zootecnia.

2017-66:223-228

Issn: 1885-4494

Journal website:

<https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/>

indizada: JCR-Thompson Reuters (ISI)

Correspondencia a los autores/Contact email:

alejandro.plascencia@uabc.edu.mx

alfred_vet@hormail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles (0, 1,5, 3 y 4,5%) de zeolita en sustitución parcial de maíz quebrado y de pasta de soja de una dieta de finalización formulada en base de maíz quebrado (16,51% proteína bruta y 1,39 Mcal/kg EN_g) sobre las características de la canal, composición tisular y masa visceral de ovinos de pelo. La cantidad total de zeolita incluida en cada tratamiento sustituyó al maíz y a la pasta de soja en partes iguales por lo que con cada nivel de sustitución del maíz y de pasta de soja se disminuyó la concentración de proteína bruta (PB) en 0,11 puntos porcentuales y la energía neta en 0,03 Mcal/kg. La fase de alimentación se llevó a cabo con 40 ovinos machos³/₄Kathadin×¹/₄Pelibuey (peso inicial = 32,28±2,34 kg) asignados a 20 corraletas (2 ovinos/corraleta, 5 corrales/tratamiento) alimentándose durante 75 días con alguno de los 4 tratamientos hasta su sacrificio. La inclusión de zeolita no afectó las características de la canal aunque tendió a aumentar linealmente ($P=0,10$) el área del ojo de la costilla. La zeolita aumentó linealmente ($P\leq 0,04$) la cantidad y proporción de músculo y disminuyó ($P=0,02$) la cantidad y proporción de grasa en la paleta aumentando (componente lineal, $P=0,02$) la proporción músculo:grasa. En proporción relativa a la media canal, el peso del cuarto delantero tendió ($P=0,08$) a incrementarse, mientras que el peso del cuarto trasero tendió ($P=0,08$) a disminuir con la inclusión de zeolita. La inclusión de zeolita tendió (componente lineal, $P=0,08$) a incrementar el peso (g/kg del peso corporal vacío) de los intestinos. Como resultado de una disminución lineal de la grasa mesentérica ($P<0,01$) y omental ($P=0,03$) por la inclusión de zeolita en la dieta, la grasa visceral tendió ($P=0,07$) a disminuir a medida que el nivel de zeolita se incrementó en la dieta. Los cambios en la concentración de PB y de energía de la dieta como resultado de la sustitución parcial de la pasta de soja por zeolita no afectaron negativamente el rendimiento de la canal o los cortes primarios. Niveles de hasta un 4,5% de inclusión de zeolita a la dieta favorecieron una mayor deposición muscular y una disminución de la grasa tisular y visceral en corderos alimentados con dietas de finalización.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Borregos de pelo. Clinoptilolita. Características cárnicas. Componentes no cárnicos.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of different supplemental levels (0, 1,5, 3 and 4,5%) of zeolite in partial substitution of dry rolled corn and soybean meal in a finishing diet formulated on dry-rolled corn basis (16,51% CP and 1,39 Mcal/kg NEg) on carcass characteristics, tisular composition and visceral organ mass in hairy lambs. Total quantity of zeolite included replaces corn and soybean meal in equal parts, so that, for each level of which corn and soybean meal were substituted, CP concentration decreased 0, 11 percentage points and net energy decreased 0,03 Mcal NEg/kg. Feeding phase was performed with 40 lambs $\frac{3}{4}$ Kathadin \times $\frac{1}{4}$ Pelibuey (initial weight = 32, 28 \pm 2, 34 kg) which were assigned to 20 pens (2 lambs/pen, 5 pens/treatment) and were feeding for 75 days with one of the four treatments. Zeolite inclusion did not affect carcass characteristics, but tended to linearly increased ($P=0,10$) LM area. Zeolite inclusion linearly increased ($P\leq 0,04$) the quantity and the proportion of muscle, and decreased ($P=0,02$) the quantity and the proportion of fat in shoulder, thus increasing (linear component, $P=0,02$) the muscle:fat ratio. In proportion to the half carcass, the weight of forequarter tended ($P=0, 08$) to increase, while the weight of hindquarter tended ($P=0, 08$) to decrease with zeolite inclusion. Zeolite inclusion tended (linear component, $P=0, 08$) to increase the weight (as g/kg of EBW) of intestines. As result of a linearly decreases of mesenteric ($P<0, 01$) and omental ($P=0, 03$) fat with zeolite inclusion, visceral fat tended ($P=0, 07$) to decrease as zeolite inclusion was increasing in diet.

Changes of protein and energy concentration in diet as result of partial substitution of corn and soybean meal by zeolite did not negatively affect carcass yield nor primary cuts. Levels up to 4,5% of zeolite inclusion to diets favors greater muscle deposition, lower visceral fat and lower fat tissue composition in lambs fed with finishing diets.

ADDITIONAL KEYWORDS: Hairy sheep, Zeolite. Carcass traits. Tissue composition. Visceral mass.

INTRODUCCIÓN

Las zeolitas son minerales de origen volcánico que por su estructura física y molecular tiene propiedades provechosas para la agricultura y la ganadería (Mumpton y Fishman, 1977; Mumpton, 1999). Generalmente, la inclusión de zeolitas a la dieta es del orden del 1 al 5% (Cole *et. al.*, 2007; Ghaemnia *et. al.*, 2010) y ésta se realiza sustituyendo a ingredientes tales como el maíz y la pasta de soja. Ciertos estudios informan que la disminución de la concentración de energía o PB en sustitución de los ingredientes por la zeolita no modificó la eficiencia en la ganancia atribuyendo efectos positivos en la utilización de nutrimentos en rumiantes suplementados con zeolitas (Pond, 1984; Ghaemnia *et. al.*, 2010). Estudios iniciales (McCollum y Galyean, 1983) informaron de incrementos en la proporción de propionato y disminuciones en la proporción de acetato a nivel ruminal en bovinos consumiendo dietas de finalización suplementados con zeolitas. Este resultado fue confirmado más recientemente (Urías-Estrada *et. al.*, 2015) cuando a novillos suplementados con 3% de zeolita mostraron un aumento de 3,3% en la digestión ruminal del almidón reflejándose en una disminución de 7,6% en la proporción de acetato y un incremento de 15,5% en la proporción de propionato a nivel ruminal. Estos cambios en la fermentación ruminal aunado a la dilución natural de la energía de la dieta por la sustitución de ingredientes como el maíz o la pasta de soja por las zeolitas podrían tener efectos en la partición de la energía destinada a la deposición de músculo y grasa en ganado consumiendo dietas altas en energía. Al respecto, existe una información muy limitada de la influencia de la zeolita en las características de la canal, composición tisular y la masa visceral de rumiantes alimentados con dietas de finalización. Por lo anterior, el objetivo de este experimento fue evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles de una zeolita natural (clinoptilolita) en sustitución parcial de ingredientes convencionales de la dieta (maíz y pasta de soja) sobre las características de la canal, composición tisular y masa visceral de ovinos de pelo alimentados con dietas de finalización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la “Unidad Experimental para Engorda de Pequeños Rumiantes” ubicado en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado en el Culiacán, México (24°46'13" N and 107°21' 14"W) situado a 55 m sobre el nivel del mar y con clima tropical.

Todos los procedimientos de manejo de animales se realizaron dentro de las pautas de técnicas aprobadas nacionalmente para el uso y cuidado de animales (NOM-051-ZOO-1995: para el cuidado humanitario de los animales durante la movilización de animales; NOM-062-ZOO-1995: Especificaciones técnicas para el cuidado y uso de animales de laboratorio granjas de ganado, granjas, centros de producción, reproducción y cría, zoológicos y sala de exposiciones, deben cumplir con los principios básicos de bienestar de los animales; NOM-024-ZOO-1995: estipulaciones de salud animal y características durante el transporte de animales) .

Para valorar el efecto de la suplementación de zeolita sobre las características de la canal, la composición tisular y la masa visceral de corderos alimentados con dietas de finalización se utilizaron 40 ovinos machos enteros cruzados de las razas $\frac{3}{4}$ Kathadin \times $\frac{1}{4}$ Pelibuey (peso vivo promedio = $32,28 \pm 2,34$ kg) en una prueba de alimentación con duración de 75 días. Los corderos se asignaron a uno de 5 bloques (grupos) de peso distribuyéndose en 20 corraletas (2 corderos/corraleta, 5 repeticiones por tratamiento) de 2x3 m completamente sombreadas con bebedero automático y comedero en línea. Los tratamientos consistieron en adicionar a una dieta de finalización formulada en base a maíz quebrado cuatro niveles de zeolita (Tabla I) sustituyendo parcialmente al maíz y a la pasta de soja de la siguiente manera: 1) Dieta testigo, sin zeolita, 2) 1,5% de zeolita sustituyendo 0,75% de maíz y 0,75% de pasta de soja, 3) 3% de zeolita sustituyendo 1,5% de maíz y 1,5% de pasta de soja y 4) 4,5% de zeolita sustituyendo 2,25% de maíz y 2,25% de pasta de soja. La fuente de zeolita utilizada fue clinoptilolita cálcica (ZEO-SIL; Grupo TCDN, Puebla, México). Los corderos tuvieron acceso libre a agua y a las dietas experimentales durante los 75 días.

Una vez finalizada la fase de engorda, todos los corderos fueron sacrificados en el mismo día siguiendo las especificaciones del sacrificio humanitario para animales domésticos y silvestres (NOM-033-ZOO-1995). Los órganos gastrointestinales se separaron, se vaciaron y tanto los órganos como el contenido se pesaron. Las canales (con la grasa de la pelvis renal y la grasa del corazón incluido) se enfriaron de -2 °C a 1 °C durante 48 h, después se obtuvieron las siguientes medidas: 1) el espesor de grasa perpendicular al *m.longissimus* del tórax (ML), medido en el centro del ojo de la costilla entre la 12^a y 13^a costilla; 2) El área de superficie del ML fue medida utilizando una cuadrícula posicionada en la sección transversal del ojo de la costilla entre la 12^a y 13^a costilla, y 3) para determinar la cantidad de grasa pélvica-renal-cardíaca, ésta se retiró manualmente de la canal pesándose posteriormente, el peso se expresó como un porcentaje del peso de la canal fría (USDA, 1982). Cada canal se dividió a lo largo de las vértebras en dos mitades cortándose el costillar a este nivel. Las paletas se obtuvieron a partir del cuarto delantero mediante el corte estandarizado (IMPS 200) de acuerdo al procedimiento de USDA (1982). Se registró el peso de las paletas y la composición tisular se evaluó mediante la disección física siguiendo el procedimiento de Luaces *et al.* (2008).

Todos los pesos de los tejidos de los órganos viscerales se registraron en una base de tejido fresco ya que informes anteriores sugieren que hay muy poca variación entre peso fresco y seco de los órganos viscerales (Neville *et. al.*, 2008). La masa de órganos se expresó como gramos de tejido fresco por kilogramo del peso corporal vacío (PCV). El peso corporal vacío representa el peso vivo al sacrificio menos el peso total de la digesta contenida en el tracto gastrointestinal. La masa visceral completa se calculó mediante la suma de todos los componentes viscerales (complejo de estómago + intestino delgado + intestino grueso + hígado + pulmones + corazón), incluyendo el contenido gastrointestinal. El complejo de estómago se calculó como la suma de los pesos (libres de contenido digestivo) del rumen, retículo, omaso y abomaso.

Los datos de la canal se analizaron como un diseño de bloques completos al azar considerado el corral como la unidad experimental. La composición de la paleta se analizó como un diseño de bloques completos al azar, incluyendo el efecto de

bloque \times interacción del tratamiento, junto con el efecto del peso de la canal fría como covariable. Cuando la covarianza no representaba una fuente de variación significativa ($P > 0,05$) ésta no se incluyó en el modelo. Los datos de la masa visceral se analizaron como un diseño de bloques completos al azar, incluyendo el efecto de bloque \times interacción del tratamiento. Se usó el procedimiento MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) para analizar las variables.

Los efectos del tratamiento fueron probados para los componentes lineales, cuadráticas y cúbicas del nivel de suplementación de zeolita. Los polinomios ortogonales se consideraron significativos cuando el valor de P fue $\leq 0,05$, y se identificaron las tendencias cuando el valor de P fue $> 0,05$ y $\leq 0,10$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que el efecto cúbico no fue significativo ($p > 0,10$) en ninguna de las variables evaluadas, se omitió el valor de significancia para ese componente en las Tablas.

Las características de la canal y la composición tisular se muestran en la Tabla II. La inclusión a zeolita no afectó las características de la canal evaluadas aunque tendió a aumentar linealmente ($P = 0,10$) el área del ojo de la costilla. Los informes sobre el efecto de suplementar zeolitas a las dietas de rumiantes sobre variables de la canal han sido inconsistentes. Similar a nuestros resultados, Pond (1984), informó que las variables de la canal (rendimiento de la canal, ojo de la costilla, circunferencia de la pierna) de corderos alimentados durante 70 días con una dieta de finalización no se vieron afectadas por inclusión de 2% de clinoptilolita a la dieta. Por otra parte, Yazdani *et al.* (2009), mencionan una disminución de 3,1 % en el rendimiento de la canal caliente de toretes alimentados con 5 % de clinoptilolita; de forma similar, Sadeghi y Shawrang (2006), informan que la adición de 3 % clinoptilolita a la ración de toretes disminuyó 2,8 % el rendimiento de la canal caliente. Una posible explicación por el cual el rendimiento de la canal caliente se ve reducido en algunos experimentos en animales que reciben zeolitas en la dieta puede ser que al momento de sacrificio exista un remanente suficientemente grande de la arcilla en intestinos que se refleje en menor rendimiento de la canal. De

acuerdo con EFSA (2013), no hay evidencia de que la zeolita se degrada durante su paso a través del tracto gastrointestinal de animales que la consumen; Por lo tanto, la zeolita no se absorbe y se excreta con las heces. Sin embargo, en un estudio reciente (Urías-Estrada *et. al.*, 2015), estimó una relación de consumo/excreción de zeolita de 0,55, 0,73 y 0,74 para el nivel de suplementación de 1, 2 y 3%, respectivamente medido a 21 días de suplementación. Debido a su naturaleza (una arcilla), es lógico pensar que una cierta cantidad de zeolitas permanecen en el tracto gastrointestinal durante un período de tiempo más largo que la mayor parte de las partículas de alimento. Otra posible explicación, es la posible diferencia en la densidad energética de la dieta del grupo testigo contra aquellos que reciben las zeolitas. Cuando el nivel de suplementación es alto (vgr. >5%) y éstas sustituyen a concentrados energéticos tales como los cereales, la diferencia de consumo de energía puede afectar el rendimiento de la canal en ovinos (Ebrahimi *et. al.*, 2007; Sayed, 2009).

Aun cuando, la proporción entre las cantidades de músculo y hueso no fue modificada por la inclusión de la zeolita en la dieta ($P>0,05$), un incremento lineal ($P\leq 0,04$) de la cantidad y proporción de músculo y la disminución (componente lineal, $P=0,02$) en la cantidad y proporción de grasa en paleta se reflejó en un aumento (componente lineal, $P=0,02$) en la proporción músculo:grasa en los corderos suplementados con zeolita. Urías-Estrada *et al.* (2015) demostraron una mejor utilización del almidón de la dieta resultando en una mayor proporción de propionato con la disminución consecuente de la proporción acetato:propionato y una menor producción estimada de metano, estos cambios favorecen la eficiencia energética hacia una mayor deposición de proteína y una menor deposición de grasa en borregos en finalización (Abdul-Razzaq y Bickerstaffe, 1989). Adicionalmente, como resultado de la característica inerte (no contiene materia que aporte energía) de la zeolita, el sustituir el maíz y la pasta de soja por zeolita diluyó la concentración de la energía neta en 0,03 Mcal/kg por cada nivel de inclusión de zeolita (comparado con el testigo, 0,09 Mcal/kg menos para el tratamiento con 3% de zeolita) esta disminución, aunque marginal, puede afectar, a grandes niveles de inclusión de zeolita, la cantidad total de energía consumida diariamente resultando en menor

cantidad de grasa depositada en la canal (Ferrell *et. al.*, 1979; Mahgoub *et. al.*, 2000).

El efecto de la inclusión de zeolita sobre la proporción relativa de los cortes primarios se muestra en el Tabla III. En proporción relativa a la media canal, el cuarto delantero tendió ($P=0,08$) a incrementarse, mientras que el cuarto trasero tendió ($P=0,08$) a disminuir con la inclusión de zeolita. A nuestro conocimiento, no existe información disponible sobre el efecto de la adición de zeolita sobre los cortes primarios. El efecto de la zeolitas sobre la tendencia ($P=0,08$) a una mayor producción de corte primario en cuarto anterior y ésta disminución en cuarto posterior es sorprendente y dada la naturaleza de las variables registradas en el experimento no se cuenta con elementos suficientes para explicar dichas tendencias. Aun así, las proporciones de cortes primarios observados aquí concuerdan con otros informes en los cuales utilizaron dietas, razas y pesos al sacrificio similares al presente experimento (Partida y Martínez, 2010; Ríos *et. al.*, 2010).

El efecto del nivel de inclusión de zeolita sobre los órganos viscerales se muestra en el Cuadro 4. La inclusión de zeolita tendió a incrementar linealmente ($P=0,08$) el peso de los intestinos (g/kg PCV). Esta tendencia puede confirmar, en parte, que en los intestinos hayan existido remanentes del mineral tal como se discutió anteriormente, o bien, por un posible engrosamiento del tejido como respuesta a la acción abrasiva del mineral a través de su tránsito intestinal. Los corderos mostraron una disminución lineal de la grasa mesentérica ($P<0,01$) y omental ($P=0,03$) por la inclusión de zeolita en la dieta, por lo que la grasa visceral tendió ($P=0,07$) a disminuir a medida que el nivel de zeolita se incrementó en la dieta. Se ha relacionado la deposición de grasa visceral con una mayor producción de acetato ruminal (Smith y Crouse, 1984). Al respecto, se ha informado que la adición del 3 al 4% de zeolita en dietas altas en energía incrementó la proporción de propionato y disminuyó la proporción de acetato durante el proceso fermentativo (Galyean y Chabot, 1981; McCollum y Galyean, 1983; Urías-Estrada *et. al.*, 2015), lo que puede explicar la menor deposición de grasa a este nivel.

CONCLUSIONES

Se concluye que los cambios en la concentración de proteína y de energía de la dieta como resultado de la sustitución parcial de la pasta de soja por zeolita no afectaron negativamente el rendimiento de la canal o los cortes primarios. Niveles de hasta un 4,5% de inclusión de zeolita a la dieta favorecen una mayor deposición muscular y promueve una disminución de la grasa tisular y visceral en ovinos finalizados con dietas altas en energía.

LITERATURA CITADA

- Abdul-Razzaq, A.H. and Bickerstaffe, R. 1989. The influence of volatile fatty acids on protein metabolism in growing lambs. *Br J Nutr*, 62: 297-310.
- Ebrahimi, R.; Ahmadi, H.R.; Zamiri, M.J. and Rowghani, E. 2007. Effect of energy and protein levels on feedlot performance and carcass characteristics of Mehraban ram lambs. *Pakistan J Biol Sci*,15: 1679-1684.
- 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
- Ferrell, C.L.;Crouse, J.D.;Field, R.A. and Chant, J.L. 1979. Effects of sex, diet and stage of growth upon energy utilization by lambs. *J Anim Sci*, 49:790-801.
- Galyean, M.L. and Chabot, R.C. 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.
- Ghaemnia, L.; Bojarpour, M.; Mirzadeh, K.H.; Chaji, M. and Eslami, M. 2010. Effect of different levels of zeolite on digestibility and some blood parameters in Arabic lambs. *J Anim Vet Adv*, 9: 779-781.
- Luaces, M.L.; Calvo, C; Fernández, B.; Fernández, A.; Viana, J.L. and Sánchez, L. 2008. Predicting equation for tisular composition in carcass of Gallega breed lambs. *Arch Zoot*, 57:3-14.
- Mahgoub, O.; Lu, C.D. and Early, R.J. 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, 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*, 56:3. 517 - 523.
- Mumpton, F.A.1999. La Roca Mágica: Uses of Natural Zeolites in Agriculture and Industry. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 96, pp. 3463-3470.
- Mumpton, F.A. and Fishman, P.H. 1977. The application of Natural Zeolites in Animal Science and Aquaculture. *J Anim Sci*, 45:5. 1188 - 1203.
- Neville, T.L.; Ward, M.A.; Reed, J.J.; Soto-Navarro, S.A.; Julius, S.L.; Borowicz, P.P.; Taylor, J.B.; Redmer, D.A.; Reynolds, L.P. and Caton, J.S. 2008. Effects of level and source of dietary selenium on maternal and fetal body weight, visceral organ mass, cellularity estimates, and jejunal vascularity in pregnant ewe lambs. *J Anim Sci*, 86: 890-901.
- Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. *Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*; 1999. Disponible en: <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/062ZOO.PDF>. Accesado marzo 11, 2016.
- NRC.2007. National Research Council. Nutrient Requirements of Small Ruminants sheep, goats, cervids, and new world camelids. The National Academic Press Washington, D.C. USA.
- Partida, P.J.A. and Martínez, L.R. 2010. Body composition in Pelibuey lambs in terms of feed energy concentration and slaughter weight. *Rev Vet Mex*,41:177-190.
- Pond, W.G. 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.

- Ríos, R.F.; Barreras, A.; Estrada, A.; Obregón, J.F.; Plascencia, A.; Portillo, J.J. and Zinn, R.A. 2010. Effect of level of dietary zilpaterol hydrochloride (β 2-agonist) on performance, carcass characteristics and visceral organ mass in hair lambs fed all concentrate diets. *J Appl Anim Res*, 38:33-38.
- Sadeghi, A.A. and Shawrang, P.2006. The effect of natural zeolite on nutrient digestibility, carcass traits and performance of Holstein steers given a diet containing urea. *Anim Sci*, 82: 163-167.
- SAS.2007. SAS/STAT: user's Guide: Statistics. Release 9.3. SAS Institute Inc.: Cary, NC.
- Sayed, N.A. 2009. Effect of different dietary energy levels on the performance and nutrient digestibility of lambs. *Vet World*, 2:418-420.
- Smith, S.B. and Crouse, J.D. 1984. Relative contributions of acetate, lactate and glucose of lipogenesis in bovine in muscular and subcutaneous adipose tissue. *J Nutr*, 114:792–800.
- Urías-Estrada, D.; Plascencia, A.; Calderón, J.F.; Barreras, A.; López-Soto, M.A.; Montañó, M.; González, V.M.; Estrada-Angulo, A.; Castro-Pérez, B.I. and Contreras, G. 2015. Influencia de la adición de distintos niveles de zeolita a dietas de finalización para novillos sobre digestión de materia seca, N y energía de la dieta. V Congreso de Producción Animal Tropical. 16-20 de noviembre, La Habana, Cuba.
- USDA. 1982. Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses. Agriculture Marketing Service, USA.
- Yazdani, A.R.; Hajilari, D. and Ghorbani, M.H. 2009. Effect of clinoptilolita zeolite on feedlot performance and carcass characteristics in Holstein steers. *Indian J Anim Res*, 43: 300-303.

Cuadro 10. Ingredientes y composición química de las dietas utilizadas (ingredients and chemical composition of experimental diets).

Concepto	Nivel de zeolita, % MS			
	0	1.5	3.0	4.5
Composición del ingrediente, % MS				
Maíz quebrado	60,50	59,75	59,00	58,25
Pasta de soja	16,00	15,25	14,50	13,75
Heno de Sudán	9,00	9,00	9,00	9,00
Zeolita (Clinoptilolita) [*]	0,00	1,50	3,00	4,50
Grasa animal	2,00	2,00	2,00	2,00
Salmineralizada [†]	2,50	2,50	2,50	2,50
Melaza de caña	10,00	10,00	10,00	10,00
Concentración de energía, Mcal/kg de MS [‡]				
EN _m , Mcal/kg	2,04	2,01	1,98	1,95
EN _g , Mcal/kg	1,39	1,37	1,35	1,33
Composición de nutrientes, % MS [‡]				
Proteína bruta	16,51	16,11	15,71	15,30
Extracto etéreo	5,27	5,22	5,17	5,11
Fibra detergente neutro	14,85	14,66	14,47	14,27
Cenizas	6,88	8,42	9,96	11,49

^{*}Clinoptilolita cálcica(Zeo-Sil, Grupo TCDN, Puebla, Puebla);[†]contenido mineral: CoSO₄, 0,068%; CuSO₄, 1,04%; FeSO₄, 3,57%; ZnO, 1,24%; MnSO₄, 1,07%, KI 0,052% y NaCl, 92,96%;[‡] calculada a través de los valores tabulares expresados en el NRC (2007); la composición de la dieta fue determinada por análisis de submuestras colectadas y reunidas durante todo el experimento.

Cuadro 11. Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre las características de la canal y composición tisular en ovinos de pelo (Influence of zeolite supplementation level on carcass traits, tissue composition and visceral organ mass of hairy lambs).

Variable	Zeolita en la dieta,%				EEM	Valor de p*	
	0	1.5	3.0	4.5		L	C
Peso canal caliente, kg	33,03	32,60	32,82	32,71	1,14	0,89	0,89
Rendimiento en canal, %	60,92	59,80	59,06	60,16	0,99	0,40	0,44
Peso canal fría, kg	32,67	32,23	32,41	32,37	1,12	0,89	0,86
Área MLD [†] ,cm ²	19,47	20,32	21,59	20,91	0,68	0,10	0,29
Espesor grasa dorsal, cm	0,37	0,33	0,32	0,34	0,042	0,65	0,43
Canal							
Largo, cm	70,45	71,25	71,15	71,70	0,93	0,40	0,90
Ancho, cm	27,70	27,15	28,10	27,70	0,67	0,76	0,91
Espesor pared abdominal, mm	18,16	18,25	19,13	19,84	0,93	0,18	0,74
Pierna							
Largo, cm	45,20	46,90	47,20	46,35	0,68	0,24	0,09
Circunferencia, cm	47,65	49,55	50,30	48,35	1,02	0,54	0,08
Composición paleta							
Peso total, kg	2389	2347	2298	2304	93	0,48	0,80
Músculo, g	1506	1542	1541	1561	15	0,04	0,61
Grasa, g	404	359	370	346	12	0,02	0,41
Hueso, g	431	433	417	427	11	0,50	0,70
Composición paleta, g/kg							
Músculo	646	661	660	669	6,0	0,03	0,58
Grasa	173	153	159	147	5,3	0,02	0,45
Hueso	185	186	178	184	4,6	0,60	0,57
Proporción músculo:hueso	3,51	3,56	3,72	3,64	0,11	0,28	0,60
Proporción músculo:grasa	3,74	4,35	4,17	4,55	0,16	0,02	0,51

*p=nivel de significancia observado para los efectos lineal y cuadrático del nivel de suplementación de zeolita; [†]MLD = Músculo *Longissimus dorssi*.

Cuadro 12. Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre los cortes primarios (g/100 g de peso de canal fría) [Influence of zeolite supplementation level on primal cuts (g/100g of hot carcass weight)]

Variable	Zeolita en la dieta, %				EE	Valor de p*	
	0	1.5	3.0	4.5		L	C
Réplicas	5	5	5	5			
Cortes del cuarto anterior							
Gramos/100 g de media canal	54,29	54,61	54,52	55,37	0,36	0,08	0,49
Paleta	8,54	8,41	8,17	9,03	0,50	0,58	0,34
Espaldilla	16,38	16,72	16,22	16,50	0,31	0,92	0,92
Costillar bajo	8,65	8,46	8,58	8,39	0,22	0,53	0,99
Peineta	7,61	7,49	6,88	7,23	0,17	0,15	0,06
Pecho	4,33	4,31	4,29	4,10	0,28	0,57	0,77
Cortes del cuarto posterior							
Gramos/100 g de media canal	45,71	45,36	45,48	44,64	0,36	0,08	0,49
Lomo	7,76	7,93	7,77	7,71	0,29	0,82	0,72
Costillar	7,30	7,03	7,49	7,13	0,34	0,96	0,90
Pierna	30,65	30,43	30,22	29,80	0,33	0,19	0,76

*p= nivel de significancia observado para los efectos lineal y cuadrático del nivel de suplementación de zeolita.

Cuadro 13. Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre la masa viscerales (Influence of zeolite supplementation level on visceral mass).

Variable	Zeolita en la dieta, %				EE	Valor de p*	
	0	1.5	3.0	4.5		L	C
Observaciones	10	10	10	10			
TGIlleno, kg [†]	4.47	4.44	4.68	4.65	0.190	0.35	0.99
PCV, kg [‡]	49.57	50.33	50.94	48.02	2.09	0.67	0.38
PCV, % del peso total	91.65	91.96	91.51	91.02	0.46	0.30	0.47
Vísceras llenas, kg	9.91	9.77	10.14	10.08	0.24	0.41	0.84
Órganos, g/kg de PCV							
Estómago	29.73	29.23	30.74	30.50	1.11	0.45	0.91
Intestinos	41.31	45.88	45.05	45.96	1.65	0.08	0.27
Hígado	16.28	16.90	16.66	16.25	0.57	0.90	0.78
Riñones	2.47	2.79	2.61	2.51	0.10	0.83	0.05
Pulmón y corazón	20.50	21.45	21.07	21.54	0.66	0.36	0.72
Grasa mesentérica	9.90	7.66	6.62	6.28	0.72	<0.01	0.20
Grasa omental	29.28	27.01	24.44	23.18	1.99	0.03	0.80
Grasa en riñón y corazón	14.84	13.48	14.96	16.31	1.61	0.42	0.41
Grasa visceral	54.02	48.15	46.00	45.77	3.29	0.07	0.40

*p= Nivel de significancia observado para los efectos lineal y cuadrático del nivel de suplementación de zeolita; [†]TGI = Tracto gastrointestinal; [‡] PCV = peso del cuerpo vacío.

CAPITULO 4. CONCLUSIONES GENERALES

La información de la respuesta obtenida en los rumiantes ha sido poco uniforme, en los reportes científicos publicados es posible ver la ambigüedad en la respuesta; y esto se ha atribuido en primer lugar al tipo de dieta, al igual que la pureza del material utilizado. Sin embargo, en algunos reportes se informó de mejora en la eficiencia de utilización de nutrientes y esta era más evidente en dietas integradas por ingredientes de baja calidad o bien cuando aporte de proteína es inferior al recomendado. No obstante, a pesar de las inconsistencias, el nivel de 3 % de adición de zeolita en la dieta de rumiantes ha mostrado mayor consistencia de resultados favorables.

CAPITULO 5. LITERATURA CITADA

- Alfaro, M. y F. Salazar. 2005. Livestock Production and Diffuse Pollution, Implications for Southern Chile Agric. Téc. 65 (3): 330-340.
- Alhajhoj Al-Qahtani, M. R. 2009. Effect of addition of sand and soil amendments to loam and brick grit media on the growth of two turf species (*Lolium perenne* and *Festuca rubra*). J. Applied Sci. 9 (13): 2485-2489.
- Alic, U. D. 2014. Efficacy of clinoptilolite supplementation on milk yield and somatic cell count. Rev.MVZ Córdoba 19(3):4242-4248.
- Alvarado Ibarra, J., M. Sotelo Lerma, D. Meza Figueroa, M. Maubert Franco y F. A. Paz Moreno. 2013. Evaluación de la potencialidad de una chabacita natural mexicana en la remoción de plomo en agua. Rev. Int. Contam. Ambie. 29 (2) 201-210.
- Andronikashvili, T., M. Gamisonia y L. Eprikashvili. 2010. On the study of positive prolonged effect of natural zeolites on grape yield. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 4(1): 111-113.
- Aksoy, G., H.S. Birisic, M. Avci, O. Kaplan y M. Yertuk. 2013. Effect of Zeolite Mineral on Animal Welfare in Natural Shelters, Sanliurfa Region-Turkey. XIII Middle European Buiatric's Congress.Serbia. pp. 112-114. Ref. 13.
- Arranz, M. I. 2010. "La población mundial. Características generales. Problemática derivada del envejecimiento demográfico en los países ricos" (Sección Temario de oposiciones de Geografía e Historia), Proyecto Clío 36. ISSN: 1139-6237. Disponible en: <http://clio.rediris.es>
- Bernardi, A. C. C., P. P. A. Oliviera, M. B. M. Monte, J. C. Polidoro, F. Souza-Barros. 2010. Brazilian sedimentay zeolite use in agriculture. World congress of soil science, Soil solution for a changing world. 37- 40.

- Berrios, I., Castro, M., Cárdenas, M. 1983. Inclusión de zeolita en los piensos para gallinas ponedoras alimentadas ad libitum. *Revista Cubana De Ciencia Agrícola* 1983, 17:157-162.
- Bosch, P. y Schifter, I. 1988. La zeolita una piedra que hierve. SEP. Fondo de cultura económica. Primera edición. México, D.F. pp. 82.
- Bosi, p., D. Creston, L. Casini. 2002. Production Performance of Dairy cows After the Dietary Addition of Clinolite. *Ital. J. Anim. Sci.* 1. 187-195.
- Bringe A. N., L of Rough y H. Schultz. 1969. Effects age type or added bentonite in maintaining fat. *Tes.* 52: 4. 465-471.
- CalleJa, C. A. 2009. La importancia de las zeolitas. *CT* 1. 211-227.
- Castaing, J. 1998. Uso de las arcillas en alimentación animal. XIV curso de especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/98CAPVIII.pdf>. Acceso 27 Julio de 2013.
- Castellanos-Ruelas, A. F., J. G. Rosado-Rubio, L .A. Chel-Guerrero, D. A. Betancur-Ancona. 2006. Empleo del zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14 (2): 56-59.
- Castro, M y A. Elías. 1978. Efecto de la inclusión de zeolita en dietas de miel final sobre el comportamiento de cerdos en crecimiento y ceba. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 12:67-70.
- Castro, L.Z. 1996. Efectos de la Zeolita en la adsorción de principios nutritivos en medios biológicos. Trabajo de Diploma. Universidad de la Habana, Facultad de Biología, La Habana, Cuba. 33 pp.
- Castro, M. y M. Iglesias. 1989. Efecto de la Zeolita en Dietas Tradicionales para Cerdos en Ceba. *Rev. Cubana de Cienc. Agric.* 23:273-275

- CIAPAN. 2002. Guía para la asistencia técnica del valle de Culiacán. INIFAP. Culiacán, Sinaloa, México. Pp. 97.
- Cole, N. A., R. W. Todd y D. B. Parker. 2007. Use of fat and zeolite to reduce ammonia emissions from beef cattle feed yards. International symposium on air quality and waste management for agriculture. Broomfield, Colorado. ASEBE publications, number 701p0907cd.
- Colella, C. 1999. Environmental Applications of Natural Zeolitic Materials Based on Their Ion Exchange Properties. Natural Microporous Materials in Environmental Technology. 362. 207-224.
- Colella, C. 2011. A critical reconsideration of biomedical and veterinary applications of natural zeolites. Clay Minerals. 46. 295 – 309.
- Coutinho Filho, J. L. V., W. Henrique, R. M. Peres, C. L. Justo, P. A. de Siqueira y P. S. Coser. 2002. Efeito da Zolita na Engorda de Bovinos em confinamento. Arch. Latinoam. Prod. Anim. (2): 93-96.
- Crespo, G. 1989. Efecto de la zeolita sobre la eficiencia del nitrógeno aplicado a *Brachiaria decumbens* in un suelo ferralítico rojo. Rev. Cubana de Cienc. Agric. 23:193-198.
- Defang, H. F y A. A. Nikishov. 2009. Effect of dietary inclusion of zeolite on performance and carcass quality of grower-finisher pigs. Livestock Research for Rural Development. 21: (6). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd21/6/defa21090.htm>
- Degnan, T. F. Jr. 2000. Application of zeolites in petroleum refining. Topics in Catalysis. 13:349-356.
- Delgado, A., Molina, A., 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. 30:265-269.

- De Pablo-Galán, L., M. L. Chávez-García y M. Cruz-Sánchez. 1996. Sedimentary Zeolites in the Sierra Madre del sur and Sierra Madre Occidental, México. Instituto de geología. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 13:188-200.
- Dschaak, C. M., Eun, J. S., A. J. Young, A. J., Stott, R. D., 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.
- Dschaak, C. M. 2012. Use of Rumen Modifiers to Manipulate Ruminal Fermentation and Improve Nutrient Utilization and Lactational Performance of Dairy Cows. All Graduate Theses and Dissertations. Utah State University. Paper 1238.
- Estrada, J. D., A. Angulo, M. J. Martínez, S. J. Bolado, G. E. Vázquez, R. F. Ríos y L. J. Portillo. 2010. Efecto de la inclusión de niveles crecientes de zeolita en dietas integrales en las características de la canal y cortes primarios de ovinos Pelibuey x Katahdin en engorda intensiva. I Simposio Internacional de la Federación de Ovejeros y Cabreros de América Latina (FOCAL). La Habana, Cuba. Abstract. 278 p.
- Erdem, E., N. Karapinar, R. Donat. 2004. The Removal of Heavy Metal Cations by Natural Zeolites. *J. Colloid interface Sci*. 280: 309–314.
- Escobosa, A., C. E. Coppock, L. D. Rowe, W. I. Jenkins y C. E. Gates. 1984. Effects of dietary sodium bicarbonate and calcium chloride on physiological responses of lactating dairy cow in hot weather. *J. Dairy Sci*. 67:574.
- FAO, 2002. *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*.
- FAO, 2012. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma.
- Forouzani, R., E. Rowghani y M. J. Zamiri. 2004. The effect of zeolite on digestibility and feedlot performance of Mehraban male lambs given a diet containing urea-treated Maite silage. *J. Anim. Sci*. 78:179-184.

- Forsberg, S., B. Jones y T. Westermark. 1989. Can zeolites decrease the uptake and accelerate the excretion of radio-caesium in ruminants?. *Sci Total Environ.* 79: 37-41. (Abstract)
- Galindo, J., A. Elías y J. Cordero. 1982. La Adición de Zeolita a las Dietas de Ensilaje. I. Efecto del Nivel de Zeolita en la Celulosis Ruminal de Vacas que Consumen Ensilaje. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 16:269.
- Galindo, J., A. Elías y J. Cordero. 1984. La Adición de Zeolita a las Dietas de Ensilaje. II. Efecto de la Zeolita en la población microbiana en Vacas que Consumen Ensilaje. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 18:55-60.
- Galindo, J., Elías, A., Piedra, R. y Lezcano, O. 1990. Efecto de algunos componentes de la zeolita en la actividad microbiana ruminal en dietas de ensilaje. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 24:189-196.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema De Clasificación Climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. México, D.F.
- García, L. R., A. Elías y A. Menchaca. 1992. Uso de zeolitas en vacas lecheras. Efecto en la producción de leche. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 26: 133-137.
- Ghaemnia, L., M. Bojarpour, K. H. Mirzadeh, M. Chaji y M. Eslami. 2010. Effects of Different Levels of Zeolite on Digestibility and some Blood parameters in Arabic Lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances.* 9:4. 779-781.
- González, M. L., M. Valdivie y E. Lon Wo. 1996. Saccharina y zeolita en la alimentación de pollo de engorde. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 30: 317-321.
- Goodarzi, M. y S. Nanekarani. 2012. The Effects of Calcic and PotassicClinoptilolite on ruminal Parameters in Lori Breed Sheep. *APCBEE Procedia* 4. 140-145.
- Hatieganu, V., I. Puia, O. Popa y G. Baltan. 1979. Use of natural zeolites in animal feeding (synthesis). *Rev. Zoot. Med. Vet.* 33:27-34.

- Hernández, M. A., F. Rojas, L. Corona, V. H. Lara, R. Portillo, M. H. Salgado y V. Petronoskii. 2005a. Evaluación de la Porosidad de Zeolitas Naturales por Medio de Curvas Diferenciales. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 21(2) 71–81.
- Hernández, M. A., L. Corona, A. I. González, F. Rojas, V. H. Lara, Y F. Silva 2005b. Quantitative study of the adsorption of aromatic hydrocarbons (Benzene, Toluene, and p-Xylene) on dealuminated clinoptilolites. *Ind. Eng. Chem Res.* 44: 2908-2916.
- Hernández, M. A., F. Rojas, V. H. Lara, R. Portillo, R. Castelán, G. Pérez Y R. Salas. 2010. Estructura Porosa y Propiedades Estructurales de Mordenita y Clinoptilolita. *Superficies y Vacío* 23 (S) 51-56.
- Hulbert, M. H. 1987. Sodium, calcium, and ammonium exchange on clinoptilolite from the fort laclède deposit, sweetwater county, Wyoming. *Clays and Clay Minerals.* 35(6): 458-462.
- Hutjens, M. F. 2013. Fisiología digestiva y uso de aditivos alimenticios rumiantes. XXIX curso de especialización FEDNA. Madrid. 6-7 Noviembre.
- Inglezakis, V. J., y A. A. Zorpas. 2012. Natural Zeolites Structure and Porosity in: *Handbook of Natural Zeolites.* P. 133-146.
- Inglezakis, V. J., y M. D. Loizidou. 2012. General Introduction in: *Handbook of Natural Zeolites.* P. 3-10.
- Jevtic, S., S Grujic, G. Mali y N. Rajic. 2011. Surfactant-Modified Natural Clinoptilolite as a Carrier for Controlled Release of Aspirin. *Proceedings of the 4 th Slovenian-Croatian Symposium on Zeolites.* 77- 80.
- Jianhua, Z., C. Yuan, W. Ying y X. Qinhu. Preparing strong basic zeolite molecular sieve catalytic materials. *Chinese Science Bulletin.* 44: 21. 1926-1934.
- Karamanlis, P, P. Fortomaris, G. Arsenos, I. Dosis, D. Papaioannou, C. Batzios y A. Kamarianos. 2008. The Effect of a Natural Zeolite (Clinoptilolite) on the

- Performance of Broiler Chickens and the Quality of Their Litter. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21(11):1642-1650.
- Kalló, D. 2001. Applications of Natural Zeolites in Water and Wastewater Treatment. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry.* 45. (1) 519-550.
- Krajisnik, D., J. Janicijevic, L. Djekic, V. Dobricic y J. Milic. 2013. aceclofenac adsorption on a natural zeolite modified with cationic surfactant: indirect vs. direct method of composites preparation. *Proceedings of the 5th Serbian-Croatian-Slovenian Symposium on Zeolites.* 132-135.
- Koknaroglu, H., M. Turan Toker y Y. Bozkurt. 2006. Effect of zeolite and initial weight on feedlot performance of brown swiss cattle. *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 1 (1). 49-54.
- Kondo, N. y B. Wagai. 1968. Experimental use of clinoptilolite-tuff as dietary supplements for pigs. *Yotonkai*, May 1-4.
- Lapierre, H. y G. E. Lobley. 2001. Nitrogen Recycling in the Ruminant: A Review. *J. Dairy Sci.* 84 (Suppl.): E223-E236.
- Lawrence, T. L. J., V. R. Fowler y J. E. Novakofski. 2013. Growth Promoters, performance enhancers, feed additives and alternative approaches. In: *Growth of Farm animals.* 3^{ra} Edic. pp. 325-333.
- Leung, S. 2004. The effect of Clinoptilolite properties and supplementation levels on swine performance. MSc thesis. McGill University Montreal. Pp. 131.
- Lon-Wo, E., Pérez, F. y Gonzales, J. L. 1987. Inclusión de 5% de zeolita (Clinoptilolita) en dietas para pollos de ceba en condiciones de producción. *Revista Cubana Ciencia Agrícola.* 21: 169-173.
- 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 Agrícolas* 44 (4): 389-392.

- Matijasevic, S., A. Dakovic, M. Tomasevic-Canovic, M. Stojanovic y D. Iles. 2006. Uranium (VI) adsorption on surfactant modified heulandite/clinoptilolite rich tuff. *J. Serb. Chem. Soc.* 71 (12): 1323-1331.
- Matthews, J. O., Southern, L. L. y 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.
- Martínez, G. A. 1988. *Diseños Experimentales: Métodos y Elementos de Teoría*. Edit. Trillas. D. F., México.
- Martínez, M., M. Castro, K. Hidalgo, L. Ayala, R. Pérez, L. Hernández y L. Báez. 2004. La utilización efectiva de la zeolita natural para el control de las diarreas. *Rev. Cub. Cienc. Agríc.* 38(4):395-398.
- Méndez A. B., R. T. López, R. E. García, E. M. García, F. Z. Ruiz. Utilización de zeolita en la alimentación de cerdos para abasto. *Revista Agraria -Nueva Época.* 8 (3): 25-30.
- McCollum, F. T. y M. L. Galyean. 1983. Effects of clinoptilolite on rumen fermentation, digestion and feedlot performance in beef steers fed high concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 56:3. 517-523.
- McCrary, D. F y P. J. Hobbs. 2001. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: A Review. *J. Environ. Qual.* 30:345–355.
- Montes-Luna A. de J., N. C. Fuentes-López, Y. A. Perera-Mercado, O. Pérez-Camacho, G. Castruita-de León, S. P. García-Rodríguez y M. García-Zamora. 2015. Caracterización de clinoptilolita natural y modificada con Ca²⁺ por distintos métodos físico-químicos para su posible aplicación en procesos de separación de gases. *Superficies y Vacío* 28(1) 5-11.
- Mumpton F.A. 1973. First reported occurrence of zeolites in sedimentary rocks of México. *American Mineralogist*, v.58, 287-290.

- Mumpton, F. A. 1984. Natural Zeolites. In: Zeo-Agriculture. Eds. W. G. Pond Y F. A. Mumpton. Westview Press. Boulder. Colorado.
- Mumpton, F. A. 1999. La Roca Mágica: Uses of Natural Zeolites in Agriculture and Industry. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 96, pp. 3463-3470.
- Mumpton F. A. y P. H. Fishman. 1977. The application of Natural Zeolites in Animal Science and Acquaculture. J. Anim. Sci. 45:5. 1188 - 1203.
- Mumpton, F. A. y W. C. Ormsby. 1976. Morphology of zeolites in sedimentary rocks by scanning electron microscopy. Clays and Clay Minerals. 24. 1-23.
- Nakaue, H. S., J. K. Koelliker y M. L. Pierson. 1981. Studies with clinoptilolite in poultry: II. Effect of feeding broilers and the direct application of clinoptilolite zeolite on clean and reused broiler litter on broiler performance and house environment. Poul. Sci. 60:1221–1228.
- Nakaue, H.S y Arscott. 1981. Studies with clinoptilolite in poultry. Effect of feeding varying levels of clinoptilolite (Zeolite) to dwarf single comb white leghorn pullets and ammonia production. Poultry Science 60: 944-949.
- Nesic, S., G. Grubic, M. Adamovic, N. Doroevic, B. Stojanovic y Bo ickovic. 2010. Uso de la Zeolita como Absorbente de la Zearalenona en la nutrición de terneros. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 44 (3): 227-232.
- NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle (6 th Ed.) National Academic Press. Washington. DC. U.S.A.
- NRC. 1985. Nutrient Requirements of Sheep (6 th Ed.) National Academic Press. Washington. DC. U.S.A.
- Olguín, G. M. T. 2005. Zeolitas Características y Propiedades. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Depto. de Química. México.
- Oliver, M. 1997. Effect of feeding clinoptilolite (Zeolite) on the performances of three strain of laying hens. British Poultry Science 38: 220-223.

- Ostoumov, M. 2002. Zeolitas de México: Diversidad Mineralógica y Aplicaciones. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Disponible en: http://mineralog.net/Articulos_electronicos/zeolitas_México.pdf. Accesado el 25 de Julio de 2013.
- Pavelic, K., M. Hadzija, L. Bedrica, J. Pavelic, I. Dikic, M. Katic, M. Kralj, M. H. Bosnar, S. Kapitanovic, M. Poljak-Blzi, S. Krizanac, R. Stojkovic, M. Jurin, B. Subotic y M. Colic. 2001. Natural zeolite clinoptilolite: new adjuvant in anticancer therapy. *J. Mol. Med.* 78: 708-720.
- Pavelic, K y M. Hadzija. 2003. Medical Applications of Zeolites: In *Handbook of Zeolite Science and Technology*. Edit. Scott M. Auerbach, Katena Carrado y Prabirk Dutta. New York. P. 114.
- Pavón Silva, T. B., E. Campos y M. T. G. Olguin. 2001. Remoción de níquel, cadmio y zinc del agua, utilizando clinoptilolita heulandita. *Ciencia Ergo Sum.* 7:251-258.
- Pérez, P., Fraga, L. M., Bofill, M. C., Pérez, N. 1988. Adición de zeolitas en las dietas con miel fina para pollos de engorde. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 1988, 22:179.
- Petunkin, N. 1991. Influence of Zeolites on animal digestion. En: *Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites*. Fuentes, G.R. & J.A. González (Eds). 1991. Memorias de la 3ra. Conferencia sobre Ocurrencia, Propiedades y Usos de las Zeolitas Naturales. Abril 9-12. La Habana. Cuba. p: 280. Cuba.
- Pinos-Rodríguez, J M., J. C. García-López, L, Y. Peña-Avelino, J. A. Rendón-Huerta, C. A. González-González, F. Tristán-Patiño. 2012. Environmental regulations and impact of manure generated by livestock operations in some American countries. *Agrociencia* 46: 359-370.
- Polat, E., M. Karaca, H. Demir y N. Onus. 2004. Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research.* 12. 183-189.

- Pond, W. G. 1984. Response of growing Lamb to Clinoptilolite or Zeolite NaA Added to Corn, Corn-Fish Meal and Corn-Soybean Meal diets. *J Anim. Sci.* 59:5. 1320 - 1328.
- Pulido, R. G. y Fehring, A. 2004. Efecto de la adición de una Zeolita natural sobre la respuesta productiva de terneras de lechería, postdestete. *Archivos de Medicina Veterinaria* v.36 n.2 Valdivia.
- Quisenberry, J. H. 1968 .The use of clay in poultry feed. *Clays and Clay Minerals.* 16: 267-270.
- Rodríguez-Fuentes, G., M. A. Barrios, A. Iraizoz, I. Perdomo y B Cedré. 1997. Enterex: Anti-diarrheic drug based on purified natural clinoptilolite. *Zeolites.* 19: 441-448.
- Ruiz, O., Y. Castillo, M. Miranda, A. Elías, C. Arzola, C. Rodríguez y O. Lao. 2007. Niveles de zeolita y sus efectos en indicadores de la fermentación ruminal en ovinos alimentados con heno de alfalfa y concentrado. *Rev. Cub. Cienc. Agríc.* 41(3):253-257.
- Shaobin, W. y Y. Peng. 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal.* 156:11-24.
- Sutton, M.A., C.J. Place, M. Eager, D. Fowler, y R.I. Smith. 1995. Assessment of the magnitude of ammonia emissions in the United Kingdom. *Atmos. Environ.* 29:1393–1411.
- Shurson, G. C., P. K. Ku, E. R. Miller y M. T. Yokoyama . 1984. Effects of Zeolite A or Clinoptilolite in Diets of Growing Swine. *J. Anim. Sci.* 59 (6). 1536-1545.
- Stewart, C.S. 1977. Factors affecting the cellulolytic activity of rumen contents. *Appl. Environ, Microb.* 33:497.
- Stojkovic, J., Z. Ilic, S. Ciric, B. Ristanovic, M. P. Petrovic, V. Caro petrovic y V. Kurcubic. 2012. Efficiency of Zeolite Basis Preparation in Fattening Lambs Diet. *Biotechnology in Animal Husbandry.* 28 (3) 545-552.

- Strakova, E., R. Pospisil, P. Suchy, L. Steinhauser e I. Herzig. 2008. Administration of Clinoptilolite to Brioler Chickens During Growth and its Effect on the Growth Rate and Bone Metabolism indicators. *Acta Vet. BRNO*. 77:199-207.
- Sweeney, T. F, Bull, L. S. y Hemken, R. W. 1980. Effect of zeolite as a feed additive on growth performance in ruminants. *Journal of Animal Science*. 51:401-409.
- Tiwari, D. K., J. Behari y P. Sen. 2008. Application of nanoparticles in waste water treatment. *World Applied Science Journal*. 3 (3):417-433.
- Trckova, M., L. Maltova, L. Dvorska y I. Pavlik. 2004. Kaolin, bentonite, and Zeolites as Feed Supplements for Animals: Health advantages and risks. *Vet. Med. Czech*, 49 (10): 389-399.
- Urbina-Sánchez, E., G. E. Baca-Castillo, R. Núñez-Escobar, M. T. Colinas-León, L. Tijerina-Chávez J. L. Tirado-Torres. 2006. Cultivo Hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con K^+ , Ca^{2+} o Mg^{2+} y diferente granulometría. *Agrociencia* 40: 419-429.
- Wallau, M. y U. Schuchardt. 1995. Catalysis by metal containing zeolites. I: Basic sites. *J. Braz. Chem. Soc*. 6(4): 393-403.
- Wang, S. y Y. Peng. 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 156. 11–24.
- Weitkamp, J. 2000. Zeolites and catalysis. *Solid State Ionics*. 131: 175-188.
- White, J.L. y Ohlrogge, A.J. 1974. Ion exchange materials to increase consumption of non-protein nitrogen in ruminants. *Can. Patent* 939186, Jan. 2, 1974. 30 p.
- Yanev, Y., N. Popov, T. Iliev y T. Popova. 2007. Zeolitized Pyroclastic Rocks from Oaxaca (Southern México): Mineralogy, Ion-Exchange Properties, and Use. *Geochemistry, Mineralogy and Petrology*. 45, 29-38.