

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE CIENCIAS VETERINARIAS



**“EFECTO DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE CLINOPTILOLITA
(ZEOLITA) EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS DURANTE LA
FASE INICIAL DE LA ENGORDA”**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS

PRESENTA:

M.V.Z JESÚS DAVID URÍAS ESTRADA

DIRECTOR DE TESIS

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

ASESORES

**DR. ALFREDO ESTRADA ANGULO
DR. ALBERTO BARRERAS SERRANO
DR. JOSÉ FERNANDO CALDERÓN Y CORTÉS
DR. MARTIN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ**

MEXICALI, B. C., MÉXICO

ENERO DE 2014

Efecto de la adición de diferentes niveles de clinoptilolita (zeolita) en el comportamiento productivo de ovinos en la fase inicial de la engorda. Tesis presentada por Jesús David Urías Estrada, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Director de Tesis

Dr. Alfredo Estrada Angulo

Asesor

Dr. Alberto Barreras Serrano

Asesor

Dr. José Fernando Calderón y Cortés

Asesor

Dr. Martin Francisco Montaña Gómez

Asesor

MEXICALI, B.C.

ENERO DE 2014.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Origen y Tipos de Zeolitas	4
Distribución Mundial y Nacional	5
<i>Zeolitas en el mundo</i>	5
<i>Zeolitas en México</i>	6
<i>Propiedades y características de las zeolitas</i>	7
<i>Características físicas y químicas</i>	8
<i>Propiedades de absorción</i>	11
<i>Propiedades de intercambio de iones</i>	12
Uso de Zeolita en la Rama Agropecuaria.	13
Efecto del Uso de Zeolitas como Aditivo en la Alimentación Animal	15
Aves	15
Cerdos.....	17
<i>Rumiantes</i>	20
Rumiantes para producción de leche	21
Rumiantes para producción de carne.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS	27
Características de las Unidades Experimentales y de la Zeolita Utilizada.....	28
Dietas y Diseño Experimental	30
Cálculos	33
Análisis estadístico.....	34
RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
CONCLUSIONES.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades de las zeolitas.....	13
Cuadro 2. Comportamiento productivo de pollos de engorda al adicionar zeolita a la dieta.....	16
Cuadro 3. Comportamiento productivo de gallinas ponedoras durante un periodo de 336 días.....	17
Cuadro 4. Comportamiento en cerdos con diferentes aditivos.....	18
Cuadro 5. Balance de nitrógeno y energía en cerdos alimentados con mieles y zeolitas.....	19
Cuadro 6. Efecto de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCA) en crecimiento, finalización y características de canal de cerdos.....	20
Cuadro 7. Características de fermentación ruminal de vacas lecheras alimentadas con diferentes amortiguadores ruminales.....	22
Cuadro 8. Efecto de zeolita en las características de la leche.....	23
Cuadro 9. Zeolita en la ración de terneras postdestete.....	24
Cuadro 10. Efecto de zeolita en el comportamiento productivo de borregos.....	26
Cuadro 11. Características de la zeolita (clinoptilolita) utilizada en la prueba de crecimiento.....	29
Cuadro 12. Ingredientes y composición de las dietas experimentales.....	32
Cuadro 13. Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre comportamiento productivo y energía de la dieta en borregas en finalización.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cristales de zeolita (microscopio electrónico).	5
Figura 2. Principales yacimientos de zeolita en México	7
Figura 3. Estructura de la zeolita.....	8
Figura 4. Unión de tetraedros con los iones intercambiables.....	9
Figura 5. Localización de los sitios de unión de una zeolita faujacita.....	10
Figura 6. Selectividad de las zeolitas a partículas de igual o mayor tamaño.	11

HIPÓTESIS

El uso de zeolitas en dietas que rebasan la concentración de PC requerida para ovinos en finalización contribuye a mejorar el comportamiento productivo y/o la eficiencia energética de la dieta como resultado su efecto sobre la retención de compuestos nitrogenados.

OBJETIVO

Evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles de clinoptilolita (zeolita) en el comportamiento productivo de ovinos en la fase inicial de la engorda.

“EFECTO DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE CLINOPTILOLITA (ZEOLITA) EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS EN LA FASE INICIAL DE LA ENGORDA”

RESUMEN: Se utilizaron 40 borregas (peso inicial de 31.15 kg $\pm$ 1.7, Pelibuey $\times$ Kathadin) con el fin de valorar el efecto de la suplementación de distintos niveles de zeolita (tipo clinoptilolita con presentación pulverizada, Grupo TCDN Puebla, Puebla), sobre el comportamiento productivo y la retención de energía en dietas de finalización con alto contenido de proteína (aproximadamente 20% PC). Los datos fueron analizados según el diseño de bloques completos al azar usando el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS (SAS inst. inc., Cary, NC). Los niveles utilizados fueron 0, 1, 2 y 3% de zeolita incluida en sustitución de la pasta de soya. El periodo de prueba consistió en 21 días de alimentación. La adición de la zeolita no afectó el consumo diario de MS, la ganancia diaria de peso o la eficiencia alimenticia. Se observó que a medida que los niveles de zeolita se incrementan, la EN de la dieta tendió a aumentar linealmente ($P=0.10$) e incrementó la retención aparente de la energía por unidad de MS consumida (lineal, $P=0.02$). El uso de zeolita en las dietas de finalización altas en proteína para corderos puede ofrecer ventajas en la eficiencia en la utilización de N y por ende la utilización de la energía.

Palabras clave: Zeolita, comportamiento, dietas de finalización, corderos.

INTRODUCCIÓN

Durante años se han estado utilizado distintos aditivos que ayudan a aumentar la producción, mejorar la salud animal y/o aumentar la calidad del producto final. El uso de antibióticos, ácidos orgánicos, hormonas, β -adrenérgicos, entre otros, son de uso común (Castro, 2005), aunque son cuestionados en la actualidad por el posible daño que causan en los animales, en el consumidor o inclusive en el medio ambiente. La búsqueda en los últimos años de productos naturales e inocuos que promuevan la producción sin efectos negativos en la salud de los animales, en la salud del consumidor o en el medio ambiente es cada vez más intensa e importante (Gómez, 2011).

En dietas altas en energía (>2.70 Mcal EM/kg) la inclusión de niveles de proteína por encima de 14% no tiene efectos beneficiosos adicionales sobre el comportamiento productivos del borrego en finalización (Ríos- Rincón et al., 2013). Sin embargo, tradicionalmente las dietas en finalización contienen más de 2.70 Mcal EM/kg y de 17-20% de PC y estos niveles de proteína cruda se pueden ver incrementados por la práctica actual de sustituir el maíz con DDGS. El aumento sustancial de proteína cruda de la dieta incrementa la producción de N- amoniacal en rumen más allá del que puede ser aprovechado por las bacterias ruminales con la consecuente pérdida de del mismo a través de las vía urinaria o fecal. Esta situación representa un desperdicio energético y contaminación al medio ambiente. Lo anterior puede atenuarse mediante la disminución de la tasa de degradación de los compuestos nitrogenados en el rumen o bien por el incremento de la retención de NH_3 ruminal una vez que ha sido formado en el rumen.

Esta última propiedad la posee el mineral de zeolita (clinoptilolita), que ha impactado positivamente en la utilización de los compuestos nitrogenados del alimento sin aparente efecto nocivo en el animal o en el producto final. McCollum y Galyean, (1983) informaron que en pruebas in vitro e in vivo la zeolita puede capturar hasta el 15% de los iones de amonio presentes en un inóculo en el contenido ruminal y posteriormente liberarlo lentamente, lo cual evita las pérdidas en heces u orina. Otros beneficios que se han informado es que la adición de 2% de zeolita en dietas de vacas lecheras, aumenta la digestibilidad de la energía en un 11% lo cual permite que haya más cantidad de nutrientes disponibles para la producción del animal (García et al., 1992). Sin embargo, los resultados han sido inconsistentes debido a que en algunos estudios la adición de zeolita no ha tenido efectos positivos sobre la retención de nutrientes o sobre la respuesta productiva (Pond, 1989; Matthews et al., 1999; Dschaak et al., 2010). Las razones de estas inconsistencias pueden ser resultado del nivel y tipo de zeolita utilizada y la composición de la dieta a la cual es añadida, ambos factores son relevantes para el nivel de respuesta al uso de este mineral.

Considerando que no existen datos precisos acerca de la utilización de la zeolita en las dietas de pre engordas para rumiantes, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles de clinoptilolita (zeolita) en el comportamiento productivo de borregos en las fases iniciales de la engorda.

REVISIÓN DE LITERATURA

Los constantes esfuerzos de agricultores en producir alimentos de forma más eficiente y al costo más bajo posible, han estimulado la búsqueda de la combinación de los nutrientes que ya se conocen, con nuevos aditivos que puedan incrementar la eficiencia, grado de crecimiento y el nivel de producción de cultivos y animales. Esto se ha venido buscando con la utilización de numerosos minerales que sirven como modificadores de suelo y como suplementos en las dietas de animales (Mumpton y Fishman, 1977, Chica-Toro et al., 2006), en el caso de los últimos con la utilización de antibióticos, ácidos orgánicos, aditivos fitogénicos, hormonas, entre otros (Castro, 2005).

En la producción animal se han utilizado algunos constituyentes minerales desde hace varias décadas con la finalidad de aumentar la producción, un claro ejemplo, es la adición de la piedra caliza para la alimentación de gallinas con la finalidad de fortalecer el cascarón del huevo, así como es el uso de arcillas como agentes de enlace en el peletizado de alimentos para animales.

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

Origen y Tipos de Zeolitas

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

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

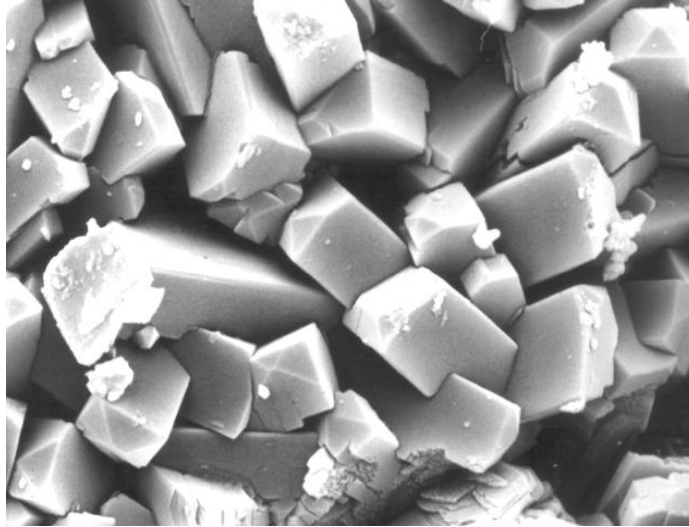


Figura 1. Cristales de zeolita (microscopio electrónico).

Distribución Mundial y Nacional

Zeolitas en el mundo

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

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

Zeolitas en México

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

A partir de este descubrimiento se conoce que existe una gran cantidad de yacimientos de zeolitas naturales en el país. Estos depósitos están constituidos básicamente de zeolitas del tipo mordenita, erionita y clinoptilolita, esta última en mayor cantidad (Hernández et al., 2005).

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

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

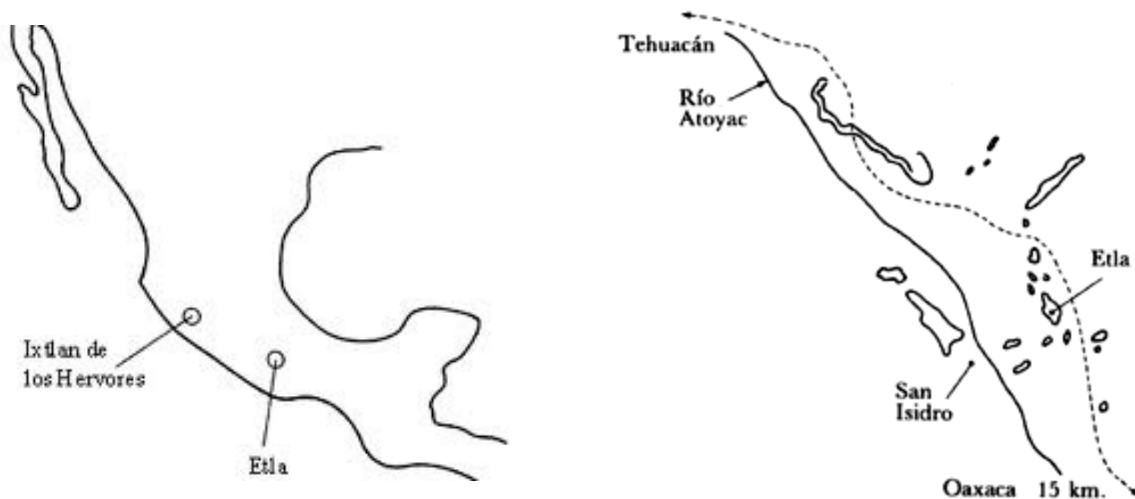


Figura 2. Principales yacimientos de zeolita en México (Bosch y Schifter, 1997)

Propiedades y características de las zeolitas

Las zeolitas son cristales de aluminosilicato, hidratados con cationes alcalinos, que presentan infinidad de estructuras tridimensionales de tetraedros de SiO_4 , junto con pequeñas cantidades de otros elementos. Estas moléculas pueden ser de origen natural o sintético; independientemente de eso, su organización tridimensional le permite crear interconexiones de los canales y huecos capaces de atrapar las moléculas de dimensiones análogas a la de un tamiz, que va a depender del tipo de zeolita (Shurson et al., 1984). Se caracterizan además, por la capacidad de liberar y atrapar moléculas de agua de manera reversible e intercambiar cationes constituyentes sin cambios importantes en su estructura, por lo tanto se pueden unir y liberar selectivamente moléculas específicas, ya sea por absorción o intercambio iónico (Mumpton y Fishman, 1977).

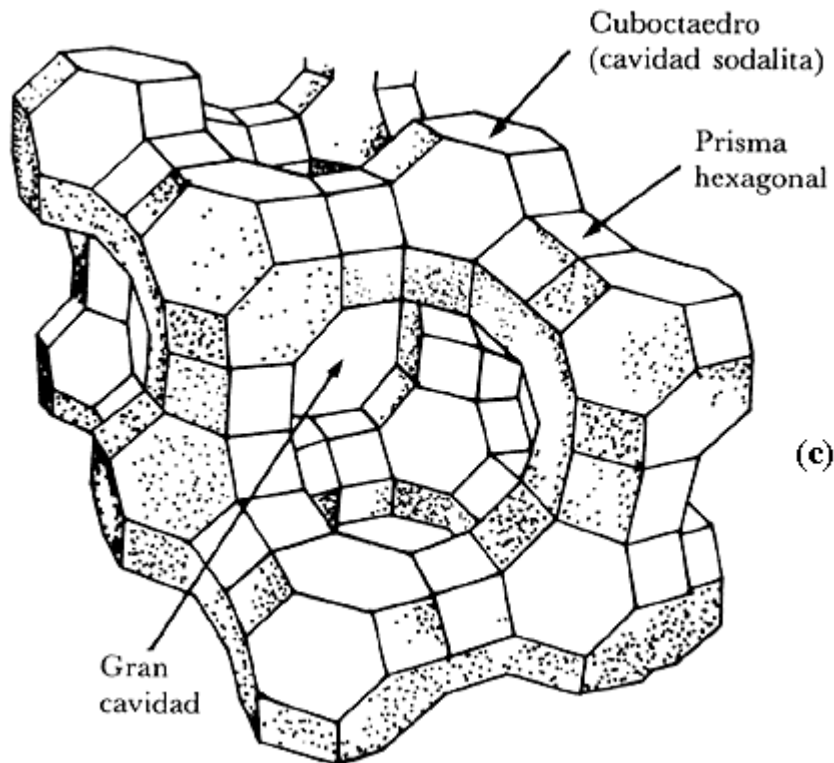


Figura 3. Estructura de la zeolita (Mumpton y Fishman, 1977).

Características físicas y químicas

Las zeolitas pertenecen a la familia de los tectosilicatos, es decir, consiste en marcos tridimensionales de tetraedros de SiO₄, de un ion de silicio con 4 iones de oxígeno en sus esquinas las cuales van a permitir la unión con tetraedros adyacentes.

Esta disposición de tetraedros de silicato reduce la relación de Si:O a 2:1 y si cada tetraedro contiene silicio como catión, las estructuras son eléctricamente neutras como en el caso del cuarzo (SiO₂). Sin embargo, en el caso de la zeolita, algunos de los iones de silicio que son tetravalente, se sustituyen por aluminio que

es trivalente, dando lugar a una diferencia de cargas positivas. Esta carga se equilibra por la presencia de cationes mono- divalentes como Na^+ , Ca^{++} , K^+ , entre otros (Mumpton y Fishman, 1977). Por lo tanto la estructura de la zeolita va a consistir en una armazón de tetraedros de $[\text{SiO}_4]^{4-}$ y $[\text{AlO}_4]^{5-}$ conectados el uno con el otro en las esquinas por medio de átomos de oxígeno como se muestra en la figura 4 (Bosh y Shifter, 1997).

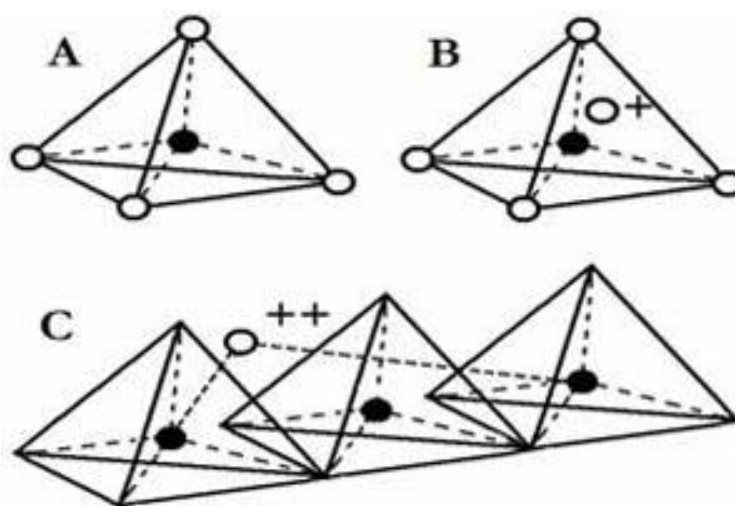


Figura 4. Unión de tetraedros con los iones intercambiables. A) Tetraedro con un átomo de Si (círculo lleno) en el centro y átomos de oxígeno en los vértices; B) Tetraedro con átomo de Al sustituyendo el Si y unido a un catión monovalente para compensar la diferencia de carga entre el Si y el Al; y C)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

Una de las zeolitas más comunes es la de la clinoptilolita y su fórmula estructural es $(\text{K}_3 \text{Na}_3) (\text{Al}_6\text{Si}_{30})\text{O}_{72} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$. El ion dentro del primer paréntesis se le conoce como catión intercambiable. Los del segundo paréntesis son los cationes estructurales, porque con el oxígeno forman las estructuras tetraédricas. El agua está presente en todas las zeolitas naturales pero están débilmente ligadas.

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

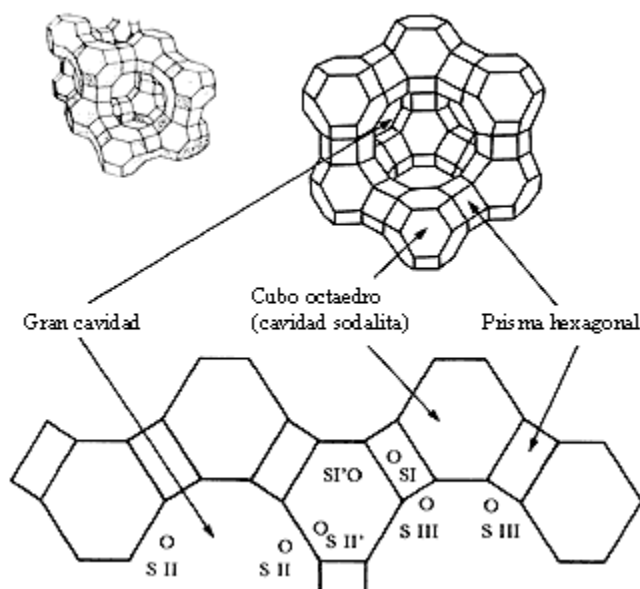


Figura 5. Localización de los sitios de unión de una zeolita faujacita (Bosch y Schifter, 1997).

Este tipo de estructura microscópica, hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande, entre $500\text{-}1000\text{m}^2/\text{g}$, con relación a su superficie externa.

La microporocidad de estos sólidos es abierta y la estructura permite la transferencia de materia entre el espacio intracristalino y el medio que lo rodea. Esta transferencia está limitada por el diámetro de los poros de zeolita, ya que solo podrán ingresar o salir del espacio intracristalino aquellas moléculas cuyas

dimensiones sean inferiores a un cierto valor, el cual varía del tipo de zeolita y es medida en angstroms (Olguín, 2005).

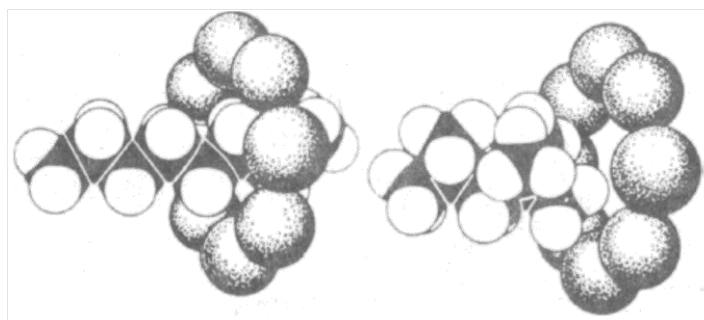


Figura 6. Selectividad de las zeolitas a partículas de igual o mayor tamaño.

Propiedades de absorción

En condiciones normales, las cavidades grandes y canales de entrada de la zeolita, están llenas de moléculas de agua formando esferas hidratadas alrededor de los cationes intercambiables. Si el agua es removida, usualmente por calentamiento durante algunas horas, las moléculas que son suficientemente pequeñas para atravesar el diámetro de los canales, son absorbidos fácilmente al interior de las cavidades centrales deshidratadas. Las moléculas de mayor tamaño no pueden ser absorbidas, por eso se les llaman tamiz molecular. El área de superficie disponible para la absorción varía en cientos de metros cuadrados por gramo de zeolita como se mencionó anteriormente; algunas son capaces de absorber hasta 30% de un gas, basado en el peso seco de la zeolita y para absorberlo hace una separación de las moléculas de gas en base a su tamaño. La inusual distribución de carga dentro de la cavidad central deshidratada permite que muchas especies con permanente dipolaridad sean absorbidos con

selectividad, a diferencia de casi todos los demás absorbentes (Mumpton y Fishman, 1977).

Propiedades de intercambio de iones.

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

La capacidad de intercambio iónico está basada en función de la sustitución del aluminio por silicio en las estructuras tetraédricas; es decir que cuando mayor sea la cantidad de aluminio en una zeolita, mayor será el requerimiento de iones alcalinos para alcanzar la neutralidad de carga (Mumpton y Fishman, 1977).

El comportamiento del intercambio iónico en las zeolitas depende de varios factores que determinan la selectividad, siendo algunos de ellos (Bosch y Schifter, 1997): a) Naturaleza de los cationes: tamaño, carga iónica, forma; b) Temperatura; c) Concentración de los cationes en solución; d) Aniones asociados con los cationes en solución; e) Estructura de la zeolita-topología de la red, densidad de carga de la red.

Cuadro 1. Propiedades de las zeolitas.

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

Uso de Zeolita en la Rama Agropecuaria.

Dentro de los usos que se le ha dado a la zeolita en la rama agropecuaria se puede encontrar la fabricación de fertilizantes mezclados y granulados, así como un substrato natural mineral para plantaciones hortícolas, para incrementar el sistema de enraizamiento, como enmiendas y mejoramiento de las condiciones del suelo en la agricultura y horticultura, eliminación de amoníaco a partir de los residuos municipales, industriales y agrícolas, como intercambiadores de energía en los refrigeradores solares, en los filtros de amoníaco en las unidades de diálisis de riñón, como sustrato en los hidropónicos (zeopónicos) en los cultivos de plantas en misiones espaciales, y su éxito en la curación de cortes y heridas, en la alimentación animal, para fabricación o extensor de cementos para la construcción (Mumpton, 1999; Castro y Lon-wo, 1991).

Su característica de absorber la humedad, permite utilizarla para preservar a los granos almacenados de enfermedades ocasionadas por hongos e incluso, para capturar a las micotoxinas que estos producen y que afectan a los animales,

la zeolita las atrapa y por ser un material indigerible, el organismo lo elimina. Su aplicación disminuye malos olores, al atrapar sustancias que contienen amonio; no proliferan larvas de insectos, debido a la absorción de humedad. También se han utilizado en las camas de ovinos y caprinos ya que ayuda a controlar la presencia de pododermatitis originada por hidratación (Lon- Wo et al., 1993).

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

Las propiedades y aplicaciones de las zeolitas naturales son muy amplias, como se mencionó anteriormente, pero una que es relevante en el área de estudio en esta investigación, es el posible uso de la zeolita en las dietas de rumiantes como aditivo alimenticio, ya que al parecer mejora la utilización de los nutrientes y tiene un aparente efecto terapéutico relacionado con el control de problemas entéricos (Castro y Lon- Wo, 1991).

Para comprobar lo anterior, Lon- Wo et al. (1993), realizaron un estudio con pollos alimentados con 0 y 5% de zeolitas, con inoculaciones de aflatoxinas (84 µg AFB1 + 62 µg AFB2 + 58 µg AFG1/ave/día). En los resultados encontraron que las aves que recibieron pienso inoculado con micotoxinas + zeolitas el peso vivo fue superior (1045 g/ave) que el grupo sin zeolita (462 g/ave) y no mostraron alteraciones significativas en los indicadores metabólicos, hígado o actividades enzimáticas específicas inusuales; lo cual indica que las zeolitas naturales no solo mejoran el comportamiento productivo y metabólico, sin provocar alteraciones morfológicas tumorales o estados de citotoxicidad, sino que elevan el estado

higiénico-sanitario de los alimentos e inhiben los efectos adversos de las micotoxinas presentes en ellos.

Efecto del Uso de Zeolitas como Aditivo en la Alimentación Animal

Aves

Para comprobar los datos anteriores se han hecho estudios que tienen como objetivo la utilización de este mineral como aditivo en la alimentación de aves. Lon-Wo et al. (1987) en un estudio con pollos de engorda, utilizaron dos tratamientos, 0 y 5% de zeolita adicionada a la dieta. La prueba consistió en evaluar el comportamiento de pollos desde la primera hasta la octava semana de edad, Al inicio de la engorda el comportamiento productivo fue similar entre tratamientos y en la etapa de finalización existió una mejor conversión alimenticia ($P < 0.05$) a favor de la inclusión de zeolita (2.38 vs 2.65). Esto influyó favorablemente en la etapa global de la ceba. Como dato adicional se encontró un menor índice de mortalidad (0.55 vs 0.75) y una mayor eficiencia económica, esto probablemente debido a los efectos terapéuticos que posee en el tracto gastrointestinal (cuadro 2).

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

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

En otro estudio con pollo de engorda se compararon tres niveles de inclusión: 0, 3, 5% de zeolitas en dietas con un 10% de miel fina. Se obtuvo una conversión de 2.39, 2.25 y 2.31 respectivamente para cada tratamiento, y una ganancia en peso de 1.532, 1.558 y 1.539, por lo tanto la zeolita a una inclusión de 3% en la dietas con el 10% de melaza mejora la conversión alimenticia y la ganancia de peso (Pérez et al., 1988).

En gallinas ponedoras se ha recomendado la utilización de 5% de zeolita en la dieta, con ello, la conversión se ve favorecida significativamente en un 8% promedio ($P < 0.05$), tal como se muestra en el cuadro 3 (Berrios et al., 1983); difiriendo con los datos anteriores mencionados por Mumpton y Fishman (1977), pero concordando en que se mejora el comportamiento productivo. De esta

manera, se logra una reducción de los costos de las dietas al incluir la zeolita en los alimentos para los animales, ya que resulta más barato incluir este mineral que cualquier cereal de calidad (Berrios et al., 1983).

Cuadro 3. Comportamiento productivo de gallinas ponedoras durante un periodo de 336 días.

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

^{abc} Medias con letras no comunes en los superíndices dentro de cada fila difieren significativamente $P < 0,05$

Cerdos

En trabajos donde se utilizó la zeolita natural en cerdos en etapa de crecimiento, se comprobó que los animales se comportan de forma similar cuando el mineral de zeolita reemplaza a los promotores de crecimiento comerciales. Este estudio tuvo como objetivo sustituir los aditivos de origen antibiótico, para mejorar la salud tanto del animal como de los consumidores, y que además de ello van a disminuir los costos de producción (cuadro 4). Los resultados demuestran que las zeolitas naturales son elementos alternativos importantes a tener en cuenta, ante la disyuntiva planteada por las prohibiciones de uso de los promotores de crecimiento de origen antibiótico, tendencias que probablemente llegaran a México

o para aquellos productores que se dedican a la exportación de productos animales a otros países.

Cuadro 4. Comportamiento en cerdos con diferentes aditivos.

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

Fuente: Castro, 2005.

Ly et al. (1996), utilizaron cerdos en un estudio que tenía como objetivo evaluar si existían diferencias entre distintos yacimientos localizados en Cuba. Se le agregaron 60g de Zeolita de cada yacimiento por kg de alimento ofrecido a los animales. No se produjo efecto de tratamiento en la digestibilidad del N, pero la retención fue superior ($P < 0.10$), de hasta un 22% para los tratamientos con zeolitas (cuadro 5), tampoco hubo efecto sobre la digestibilidad de la energía (promedio 91.8%), pero la retención de la misma en el organismo de los animales fue superior en un 5.7% como porcentaje del consumo ($P < 0.10$) cuando se utilizó zeolita. El flujo fecal diario de ácidos grasos de cadena corta y NH_3 fue mayor ($P < 0.10$) en los cerdos cuando se adicionó zeolita.

Castro e Iglesias, (1989) en otro experimento con cerdos en el que utilizaron 3 niveles de zeolita (0, 3 y 6%), combinada con dietas tradicionales, demostraron que la adición de 3% de zeolita ($P < 0.05$) mejora la ganancia diaria de peso (609, 722, 686) y la conversión alimenticia (4.7, 3.8, 3.9).

Cuadro 5. Balance de nitrógeno y energía en cerdos alimentados con mieles y zeolitas.

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

+P<0.10 **P<0.01 ab Medias con letras diferentes dentro de cada fila difieren significativamente a P < 0.05

En algunos estudios como es el caso de Matthews et al. (1999), la zeolita no ha generado una respuesta positiva (Cuadro 6); una de las causas probables es que la zeolita por ser un tamiz molecular se ha tratado de modificar para aumentar su tamaño de poro y hacerlas selectivas hacia ciertas moléculas de mayor tamaño. Esto la convierte en una zeolita sintética, por lo tanto, el cambio en su estructura puede alterar las propiedades de la misma para intercambiar iones.

Cuadro 6. Efecto de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCA) en crecimiento, finalización y características de canal de cerdos.

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

^c Diferencia significativa (P<0.08)

Rumiantes

La utilización de las zeolitas en la alimentación de rumiantes parece aumentar la ganancia de peso, al actuar mediante la reducción de la absorción de amoníaco, producido de la desaminación de proteínas durante los procesos digestivos en el tracto gastrointestinal, o mediante la reducción de la absorción de productos tóxicos de la degradación microbiana intestinal, como el p-cresol de la degradación de tirosina (Shurson et al., 1984). Estas moléculas tienen distintas

capacidades para unirse al amoníaco, esto dependiendo de la especie de zeolita, pero de manera general, McCollum y Galyean (1983) mencionan que en pruebas en vivo e in vitro, se ha indicado que las zeolitas son capaces de secuestrar y posteriormente liberar el 15% de los iones de amonio presentes en un inoculo o en el contenido ruminal.

Erickson y Klopfenstein (2010), ya proponían el usar la zeolita como captadores de nitrógeno en el tracto digestivo de rumiantes, y de esta manera disminuir la excreción de nitrógeno en las heces; lo que significa que la retención del mismo es mayor en el organismo animal, lo que favorece una mayor deposición de proteína en el cuerpo del rumiante y una menor contaminación al medio ambiente y mantos freáticos.

Rumiantes para producción de leche

Se han llevado a cabo experimentos con bovinos de leche, para determinar la influencia del uso de zeolitas como bufferizante contra el usado convencionalmente “bicarbonato de sodio”; sobre la fermentación ruminal y el rendimiento de la lactancia. Para este trabajo se utilizaron tres tratamientos: 1) control, 2) 1.4% de bicarbonato de sodio añadido a la dieta y 3) 1.4% de zeolita en la dieta. No hubo diferencia en el consumo de MS, producción de leche, eficiencia, producción de grasa y proteína en leche. El pH ruminal tiende a aumentar ($P=0.11$) cuando se adiciona bicarbonato y zeolitas (cuadro 7). Por lo tanto las zeolitas pueden reemplazar al bicarbonato de sodio como aditivo tampón en la dietas de vacas lecheras, pero habría que valorar su eficacia sobre el pH cuando

se utilizan dietas con alto contenido de concentrados, debido a que los animales podrían experimentar acidosis subclínica (Dschaak et al., 2010).

Cuadro 7. Características de fermentación ruminal de vacas lecheras alimentadas con diferentes amortiguadores ruminales.

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

A diferencia del estudio anterior, García et al. (1988, 1992) en dos estudios, en diferente año, informaron que la adición de 2% de zeolita en las dietas de vacas lecheras permite mejorar la producción de leche (5,164 vs 5,504 litros /lactancia) ($P < 0.001$) esto se explica mediante el análisis de las heces, pues la zeolita disminuyó las pérdidas de cereales en excretas de un 23.4 % en dieta control a 12.7% con la utilización de la zeolita, esto va a permitir que haya más

cantidad de nutrientes disponibles para incrementar la producción y la calidad de la leche (García et al., 1992). Esto último lo demostró con el estudio de 1988, con la misma dosis, la zeolita aumentó la producción de grasa hasta un 17% (0,62 contra 0,73 kg/día) y sólidos totales en casi un 11% (2.46 contra 2.73 kg/día), ($p<0.05$) (García et al., 1988). Los resultados evidencian que la zeolita puede mejorar la eficiencia en las raciones y composición láctea en vacas de alta producción (cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de zeolita en las características de la leche.

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

La zeolita natural en la ración de terneras postdestete en cría para producción de leche, no mostró diferencias significativas entre tratamientos en ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia en la conversión alimenticia (cuadro 9). Sin embargo, en el segundo período, el tratamiento con Zeolita al 3% (0.644 kg) tuvo una mayor ganancia ($P<0.05$) que el Control y Zeolita al 5% (Pulido y Fehring, 2004).

Cuadro 9. Zeolita en la ración de terneras postdestete

	Tratamientos		
	Testigo	Zeolita 3%	Zeolita 5%
Edad inicial, días	104	114	107
Consumo de alimento, kg MS/día			
0-30 días	2.41	2.45	2.41
31-60 días	3.22	3.19	3.19
0-60 días	2.82	2.82	2.8
Peso vivo, kg			
inicial	89.5	89.4	89.4
30 días	97.8	98.3	98.8
60 días	119.1 ^a	123.7 ^b	120 ^a
Ganancia de peso, kg/día			
0-30 días	0.286	0.321	0.306
31-60 días	0.506 ^a	0.644 ^b	0.507 ^a
0-60 días	0.396	0.482	0.406

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

Rumiantes para producción de carne

McCollum y Galyean (1983), realizaron dos estudios para evaluar los efectos de la Clinoptilolita en la fermentación ruminal, digestión y rendimiento en bovinos de carne, alimentados con dietas altas en concentrados. El primer experimento consistió en la sustitución de tres niveles de zeolitas (0, 1.25 y 2.5%) en la dieta en una prueba de comportamiento. No observaron diferencias ($p > .05$) en ganancia diaria de peso (0.93, 0.97, 0.98 kg respectivamente), consumo de materia seca (7.8, 7.8 y 8.1 kg) u orgánica (7.4, 7.3 y 7.4 kg), ni en la eficiencia alimenticia entre tratamientos. En la evaluación de la fermentación y la digestión ruminal, se utilizaron cuatro animales canulados en un diseño de cuadrado latino.

Los animales fueron alimentados con las dietas anteriores más un tratamiento al 5% de clinoptilolita en la dieta. Con los resultados encontrados los autores sugieren que el uso de clinoptilolita en la dieta puede alterar la digestibilidad (48.3, 57.1, 60.4 y 52.8% respectivamente) y la fermentación ruminal, ya que los niveles superiores de clinoptilolita en la dieta pueden influir sobre el amoníaco, pH y la digestión ruminal de los componentes de la dieta. Sin embargo mencionan que debería investigarse más a fondo sobre los niveles de adición de las zeolitas en las dietas de rumiantes.

Pond, (1984) llevó a cabo un trabajo con sesenta y tres borregos alimentados con tres dietas a base de: A) maíz, B) maíz-harina de pescado. C) maíz-harina de soya. A las dietas se les agregó 0%, 2% de clinoptilolita (zeolita natural) y 2% de zeolita NaA (zeolita sintética). El estudio sugiere que cuando se adiciona la zeolita con las dietas que contienen harina de carne y harina de soya, se mejora en un 11.5% la ganancia media, comparado con una dieta testigo (Cuadro 10). Este efecto puede resultar de la capacidad de la zeolita por retener moléculas de amoníaco provenientes de la desaminación de los ingredientes proteicos antes mencionados, que posteriormente son liberados y utilizados por los microorganismos del rumen, para su crecimiento y funcionalidad.

No obstante, teniendo en cuenta que la zeolita actúa como una resina de intercambio catiónico, es de suponer que a su salida del tracto gastrointestinal debe estar acompañada de ciertos electrolitos que pudieran ser necesarios para el metabolismo del animal.

Cuadro 10. Efecto de zeolita en el comportamiento productivo de borregos.

CRITERIO	DIETA								
	Maíz			Maíz + harina de pescado			Maíz + harina de soya		
	0	2% CL	2% ZA	0	2% CL	2% ZA	0	2% CL	2% ZA
Ganancia diaria, g semana 0-10	202	182	214	262	289	222	251	283	212
Consumo diario semana 0-10	1.113	1.123	1.13	1.3	1.274	1.246	1.322	1.407	1.239
Gan:Alim kg semana 0-10	0.182	0.156	0.189	0.199	0.225	0.179	0.189	0.200	0.161

Ante esta interrogante, Gutiérrez et al. (1999) comprobaron en un estudio con cuatro carneros en un diseño cuadrado latino, los efectos de la zeolita en distintos niveles de inclusión (0, 1, 3, 5%), sobre el efecto en la excreción fecal de nitrógeno y minerales. No encontraron diferencias entre tratamientos por lo tanto los resultados señalan que la inclusión de hasta 5% de la zeolita no incrementa la excreción fecal de nitrógeno y minerales, a pesar de la capacidad de intercambio catiónico que posee este complejo mineral.

Además de las aplicaciones antes mencionadas, el utilizar las zeolitas para mejorar la retención de nutrientes, o bien como controlador del pH ruminal, se pueden utilizar para controlar el consumo de alimento (inclusiones de 69 al 90%) de suplemento para becerros en pastoreo, ya que la aceptación o palatabilidad de zeolita es pobre. Estos hallazgos, son de interés biológico y económico, ya que se puede suministrar permanentemente un suplemento proteico sin estar excediendo los requerimientos del animal (Delgado et al., 1996).

Son pocos los estudios realizados en los rumiantes de engorda enfocados a la utilización de la zeolita como aditivo alimenticio; por eso la importancia de seguir investigando el efecto en estos animales, pues la contribución de todos los beneficios potenciales según las propiedades de este mineral, a una industria en crecimiento brindaría algunas de las respuestas a la problemática que enfrenta tanto en el sistemas productivo como el daño que causan los deshechos al medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este ensayo se llevó a cabo en la Unidad de Engorda Experimental de Pequeños Rumiantes en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Autónoma de Sinaloa ubicado en la ciudad de Culiacán, México (24° 46'13" N y 107° 21' 14" O). Culiacán está a 55 m sobre el nivel del mar y tiene un clima tropical. Todos los procedimientos de manejo de los animales se llevaron a cabo dentro de los lineamientos para el cuidado y uso de animales bajo experimentación y de trato humanitario durante el transporte y manejo sanitario contemplado en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-051-ZOO-1995s; NOM-062-ZOO-1995, NOM-024-ZOO-1995 y NOM-033-ZOO-1995. Las técnicas locales aprobadas para el cuidado y uso de animales bajo experimentación.

Características de las Unidades Experimentales y de la Zeolita Utilizada

Se recibieron 60 hembras Pelibuey × Kathadin en las instalaciones de la FMVZ-UAS tres semanas previas al inicio del experimento con el fin de valorar el efecto de la suplementación de zeolita sobre el comportamiento productivo y la energía de la dieta. A su llegada, las corderas fueron pesadas individualmente en báscula electrónica (báscula NORAC, capacidad 200 kg) y se alojaron a 20 corraletas a razón de tres cabezas por corraleta las cuales cuentan con una superficie de 2x3 m completamente sombreados con bebedero automático y comedero en línea de 1 m con separación para 5 bocas. Al tercer día de su llegada las corderas se vacunaron contra *Mannheimia haemolytica* (Chinoín Vet

División, México), se desparasitaron (Tasasel 5%®, Fort Dodge, Animal Health, México), identificaron y se vitaminaron con 1×10^6 UI vitamin A (Synt-ADE®, Fort Dodge, Animal Health, México). Se adaptaron gradualmente a la dieta basal durante las primeras 2 semanas de su arribo, consumiendo la dieta basal completa al día 14 de su llegada. La zeolita que se utilizó para la prueba es de tipo clinoptilolita, una zeolita obtenida de yacimientos del estado de Oaxaca, con presentación pulverizada (Grupo TCDN, Puebla, Puebla). Las características de perfil mineral se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Características de la zeolita (clinoptilolita) utilizada en la prueba de crecimiento.

CONCEPTO	CONCENTRACIÓN
Propiedades físico-químicas	
pH	9.69
Capacidad de intercambio catiónico (me/100 g)	92.11
Composición mineral	
SiO ₂ , %	66.16
Al ₂ O ₃ %	14.62
Fe ₂ O ₃ %	0.501
CaO ₂ %	2.730
MgO %	1.419
Na ₂ O %	0.810
K ₂ O %	2.904
P ₂ O ₂ %	0.018
Microelementos (mg/kg)	
Cu	0.0063
Zn	0.0124
Mn	0.0158
Ni	0.0029
Cr	0.0079
Co	0.0064
Cd	--
Pb	0.0026

(--) NO DETECTADO (< 0.001 mg/l)

Dietas y Diseño Experimental

Al día 21, el total de corderas se pesó individualmente y se seleccionaron 40 corderas (peso inicial de $31.15 \text{ kg} \pm .080$) del grupo original de 60, esto se realizó en base a la uniformidad de peso y condición corporal general. Las 20 corderas rechazadas se eliminaron del experimento mientras que las 40 borregas seleccionadas fueron agrupadas y asignadas considerando 5 bloques por el peso inicial (2 corderas/corraleta) en 20 corraletas. El periodo experimental consistió en un periodo de 21 días finalizando con el pesaje de las corderas. Los animales se pesaron a las 06:00 h en forma individual (báscula NORAC, cap 200 kg) al inicio y al final del experimento. El orden de pesaje por el corral se mantuvo durante toda la prueba. El promedio de tiempo utilizado para el pesaje de todas las corderas fue de aproximadamente 80 min.

Los tratamientos consistieron en la suplementación de zeolita en sustitución de la pasta de soya de la dieta testigo de la siguiente manera: 1) 0% de zeolita en la dieta (testigo), 2) 1% de zeolita en la dieta, 3) 2% de zeolita en la dieta, 4) 3% de zeolita en la dieta (Cuadro 12). Los tratamientos se distribuyeron aleatoria e uniformemente en cada batería de corraletas. El diseño experimental consistió en distribuir los cuatro tratamientos en las 20 corraletas experimentales bajo un diseño de bloques completos al azar, considerando el peso inicial como criterio de bloqueo y 5 corrales de réplica dentro de bloques.

La dieta se preparó semanalmente utilizando para el pesaje de los ingredientes una báscula electrónica (Tru-Test®, Sistemas Electrónicos del Norte, México). Las cantidades de zeolita asignadas a cada tratamiento se pesaron en

una balanza de precisión (Ohaus, modelo AS612, Pine Brook, NJ, EE.UU.) y se pre-mezclaron en un mezclador con capacidad de 2.5 m³ (modelo 30910-7, Coyoacán, México) durante cinco minutos con ingredientes menores (urea, piedra caliza, y minerales traza), luego, el producto final se mezcló durante un mínimo de cinco minutos min en el mismo mezclador con el resto de los ingredientes de la dieta basal. Para evitar contaminación, el mezclador se limpió perfectamente entre la elaboración de cada uno de los tratamientos. La cantidad de alimento ofrecido fue *ad libitum* suministrado en dos horarios (08:00 y 15:00 h) en una proporción 40:60 respectivamente de lo consumido. La cantidad total de alimento ofrecido por día se realizó con manejo de comedero para tener una cantidad mínima (<5%) de alimento sobrante al día siguiente. Para evaluar sobrantes, los comederos se revisaron en forma diaria de 7:40 a 7:50 AM. El ajuste de alimento ofrecido (incrementos o disminuciones) se realizó en la servida vespertina. Los animales tenían libre acceso a agua limpia y fresca durante todo el periodo de la prueba. Para cálculo de consumo de materia seca se recolectaron semanalmente muestras del alimento para determinar el contenido de materia seca (AOAC, 2000).

Cuadro 12. Ingredientes y composición de las dietas experimentales.

Concepto	Nivel de Zeolita, % de MS			
	0	1	2	3
Composición del ingrediente %				
Base material seca				
Maíz quebrado	36.00	36.00	36.00	36.00
DDGS	27.00	27.00	27.00	27.00
Pasta de soya	7.00	6.00	5.00	4.00
Heno de Alfalfa	10.00	10.00	10.00	10.00
Heno de Sudan	10.00	10.00	10.00	10.00
Melaza de caña	7.50	7.50	7.50	7.50
Urea	0.70	0.70	0.70	0.70
Minerales Traza ²	0.80	0.80	0.80	0.80
Zeolita ¹	0.00	1.00	2.00	3.00
Piedra caliza	1.00	1.00	1.00	1.00
Concentración de EN, Mcal/kg de MS ³				
EN _m , Mcal/kg	1.94	1.92	1.90	1.88
EN _g , Mcal/kg	1.29	1.28	1.26	1.25
Composición de nutrientes, % de MS ⁴				
Proteína Cruda	20.75	20.25	19.75	18.55
FDN	24.67	21.25	21.45	21.45
Calcio	0.73	0.75	0.88	0.92
Fósforo	0.58	0.58	0.58	0.58

¹ Clinoptilolita cálcica al 92% (Zeo-Sil, Grupo TCDN, Puebla, Puebla).

² Contenido de sales minerales trazas: CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%, KI 0.052%; and NaCl, 92.96%.

³ Energía Neta (EN) calculada en base a los valores tabulares del NRC para cada ingrediente alimenticio (NRC, 2000) con la excepción de la grasa suplementada, a la cual fue asignada EN_m y EN_g valores de 6.03 y 4.79, respectivamente (Zinn, 1988).

⁴ La composición de la dieta fue determinada por análisis de submuestras colectadas y reunidas durante todo el experimento. La precisión fue asegurada por la replicación adecuada con aceptación de los valores de las medias que estaban dentro del 5% una de las otras.

Cálculos

Las estimaciones de consumo esperado de MS y del valor energético de la dieta se realizaron en base al peso inicial y peso final expresado como peso mermado (PMr), para convertir a una base de peso mermado se asume que el PMr representa el 96% del peso vivo lleno (Cannas et al., 2004). La ganancia diaria de peso (GDP) se calcula restando el peso inicial del final y dividiendo el resultado por el número de días de alimentación. La eficiencia alimenticia se calculó dividiendo GDP por el consumo diario de MS registrado durante el periodo experimental. Para el cálculo de los cambios en la eficiencia energética se utilizó la estimación de consumo esperado (DMI, kg) la cual se estima a partir de la relación de la energía requerida por el animal y la energía contenida en el alimento mediante la siguiente ecuación: $DMI, \text{ kg/d} = (EM/NE_m) + (EG/NE_g)$, donde EM (energía requerida para mantenimiento, Mcal/d) = $0.056 \cdot SBW^{0.75}$ (NRC, 1985), EG (energía requerida para ganancia, Mcal/d) = $0.276 \cdot ADG \cdot SBW^{0.75}$ (NRC, 1985) y las expresiones NE_m and NE_g equivalen a lo descrito en el Cuadro 2 para cada tratamiento. El coeficiente 0.276 se estima asumiendo un peso equivalente maduro de 113 kg para corderas de la cruce Pelibuey x Kathadin (Canton y Quintal, 2007). El cambio del valor energético de las dietas suplementadas con zeolita se estimó de acuerdo al principio de la fórmula cuadrática:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c}, \text{ donde } x = EN_m, a = -0.41EM, b = 0.877 EM + 0.41 DMI + EG,$$

and $c = -0.877$ DMI (Estrada-Angulo et al., 2013), comparando la EN observada de la dieta testigo con la EN observada de la dietas suplementadas mediante la proporción: EN observada dieta suplementada/EN observada dieta testigo.

Análisis estadístico

Los datos de rendimiento (ganancia, la eficiencia de la ganancia, y la energía de la dieta) fueron analizados como un diseño de bloques completos al azar. La unidad experimental la representó el corral. El procedimiento MIXED de SAS (SAS Institute, 2004) se utilizó para analizar las variables. El efecto fijo consistió en el tratamiento mientras que el corral se consideró como el componente aleatorio. Las curvas de respuesta al nivel de zeolita suplementado fueron probados mediante contrastes ortogonales. Los contrastes se consideraron significativos cuando el valor de P fue ≤ 0.05 , y la tendencia cuando el valor de P fue > 0.05 y ≤ 0.10 .

RESULTADOS Y DISCUSION

Durante la fase experimental no se detectaron problemas de salud evidente (disminución de consumo, letargo, depresión u otro signo o síntoma observable a simple vista) en ninguno de los animales bajo estudio.

La hipótesis central fue que la zeolita podría mejorar la retención de N en dietas que contuvieran niveles de PC por encima del requerimiento. Esta situación suele suceder en engordas de larga duración (>56 días) ya que los sistemas actuales de alimentación en la etapa de finalización en corderos generalmente se utiliza un nivel de proteína (16 a 18%) constante desde el inicio de la engorda (Ríos-Rincón et al., 2013). De esta forma, para efecto de contrastación de hipótesis, las dietas fueron formuladas para que contuvieran aproximadamente un 20 % más de concentración de PC que lo utilizado en la industria y 30% más que lo especificado en los requerimientos tabulados por la NRC (2007) y que en promedio la proteínagradable en rumen estimada en los tratamientos fuera de aproximadamente 60%. Lo anterior representa un potencial de fermentación de urea negativo (-1.24; NRC, 1996, Nivel 1) por lo tanto fue una dieta diseñada para que favoreciera la pérdida de N en forma de N-NH₃ para contrastar la hipótesis y que bajo esas condiciones el nivel de su inclusión podría influir en su potencial de respuesta.

Los efectos de los tratamientos sobre el comportamiento productivo y, la energía de la dieta se muestran en el Cuadro 13. La adición de zeolita no afectó ($P>0.10$) el consumo diario de MS, la ganancia diaria o la eficiencia alimenticia.

Como resultado que la zeolita sustituyó directamente a la pasta de soya el contenido estimado de la EN de la dieta disminuyó proporcionalmente al nivel de inclusión del mineral. Al no existir diferencia ($P=0.10$) en la EN observada de acuerdo al consumo y ganancia registrado entre los tratamientos, esto favoreció en que a medida que fue en incremento el nivel de zeolita, se incrementó (lineal, $P=0.02$) la proporción (observado/esperado) de la EN de la dieta y se incrementó la retención aparente de la energía por unidad de MS consumida (lineal, $P=0.02$).

Cuadro 13. Influencia del nivel de suplementación de zeolita sobre comportamiento productivo y energía de la dieta en borregas en finalización

Concepto	Nivel de Zeolita en dieta				EEM	Contrastes valor <i>P</i>		
	0%	1%	2%	3%		L	Q	C
Corrales	5	5	5	5				
Días en prueba	21	21	21	21				
Peso, kg								
Inicial	31.09	31.09	31.16	31.26	0.302	0.40	0.71	0.84
Final	35.90	35.13	35.84	36.01	0.437	0.59	0.30	0.36
Consumo MS, kg	1.083	0.983	1.036	1.031	0.050	0.65	0.36	0.36
GDP, kg/d	0.229	0.193	0.223	0.226	0.020	0.81	0.35	0.32
Ganancia/alimento, kg/kg	0.211	0.195	0.215	0.218	0.010	0.38	0.39	0.26
EN de la dieta, Mcal/kg								
Mantenimiento	1.937	1.910	1.985	2.009	0.037	0.10	0.50	0.38
Ganancia	1.289	1.265	1.331	1.352	0.032	0.10	0.50	0.38
Proporción observado/esperado								
Mantenimiento	0.999	0.995	1.040	1.060	0.019	0.02	0.49	0.38
Ganancia	0.999	0.989	1.050	1.080	0.025	0.02	0.50	0.31
Proporción observado/esperado consumo MS	1.00	1.00	0.952	0.930	0.022	0.02	0.53	0.32

Dieta basal suplementada con 0, 1, 2 y 3% de zeolita. El valor *P* significa el nivel de significancia para efectos lineales, cuadráticos y cúbicos dependiendo del nivel de zeolita suplementada. Al

peso inicial y final se les redujo el 4% para ajustar a cuerpo vacío. El ratio de la EN dietario observada sobre la esperada fue analizada dividiendo la EN observada entre la EN de la dieta esperada, que fue estimada basada en los valores tabulares para cada ingrediente dietario de manera individual (NRC, 2007). El CMS esperado fue calculado de la manera siguiente: $CMS, \text{ kg/d} = (EM/EN_m) + (EG/EN_g)$, Donde EM= es el coeficiente de mantenimiento de $0.056 \text{ Mcal/ BW}^{0.75}$ (NRC, 1985). Y EG es la energía diaria depositada (Mcal/d) estimada por la ecuación: $EG = (0.276 \cdot ADG) \cdot SBW^{0.75}$, (NRC, 1985). El divisor de EN_m y EN_g son las EN de las dietas [calculadas de las tablas de composición de alimentos (NRC, 1985)]

La relación de la energía de la dieta observada versus la energía y el consumo esperados son una aplicación importante y práctica que contemplan las normas actuales de la energética en la investigación nutricional (Zinn et al., 2008). Basado en la composición de la dieta y las medidas de rendimiento del crecimiento, existe una expectativa precisa de la ingesta de energía, y por lo tanto, del consumo de MS (NRC, 1996). La estimación de energía de la dieta y la relación existente entre el valor numérico del consumo de MS observado contra el valor numérico del consumo esperado revela diferencias en la eficiencia de forma independiente a la ganancia de peso, proporcionando datos importantes de los posibles efectos del tratamiento sobre la eficiencia de utilización de la energía de la dieta en sí. En el presente experimento, la presencia de efectos sobre la EN de la dieta y la de retención aparente de la energía por unidad de MS consumida en los corderos que recibieron los tratamientos con clinoptilolita mostró que la suplementación con el compuesto mineral proporcionó una ventaja energética. Es sabido que los efectos extra-calóricos dado por el incremento del nivel de proteína metabolizable de la dieta se pierden cuando la dieta contiene niveles altos de energía (vgr. > de 2.70 Mcal EM/kg , Zinn et al., 2008; Ríos-Rincón et al., 2013). El observar efectos sobre la eficiencia energética bajo estas condiciones puede ser

explicado por aumento en la eficiencia de los mecanismos involucrados en la retención de N. Estudios *in vitro* realizados previamente (McCollum y Galyean, 1983) han demostrado de la capacidad de la zeolita en la fijación de N amoniacal y posterior liberación del mismo favoreciendo una mayor retención de N en el medio ruminal. En relación a lo anterior, Pond (1984) observó un efecto positivo en ganancia diaria en borregos cuando 2% de clinoptilolita fue añadida a dietas que contuvieron pasta de soya como fuente proteica, pero no hubo efecto alguno cuando la clinoptilolita se añadió a dietas que contuvieron harina de pescado. Este efecto lo atribuyeron al aumento en la eficiencia de la retención de N en las dietas que contuvieron pasta de soya ya que, comparada con la harina de pescado (<20% de degradabilidad ruminal, NRC, 1985), ésta es altamente degradable en rumen (> 60%, NRC, 1985). De igual manera, a la zeolita se le han atribuido efectos adicionales sobre el metabolismo energético. En este sentido, incrementos en los niveles de glucosa sanguínea con la disminución de cuerpos cetónicos e incrementos en la producción de leche se han informado en vacas lecheras que consumieron 200 g (aproximadamente 1.5% de la ración BM seca) de zeolita diariamente (Karatzia et al., 2013). En ese sentido, Nestorov (1984) reportó que, con la inclusión de 4 % de zeolita en la dieta de cerdos en crecimiento, se incrementa la concentración de glucosa; también indicó que al observar las células epiteliales del intestino delgado presentaron un alto desarrollo del aparato de Golgi y una actividad de pinocitosis (proceso biológico que permite a determinadas células obtener líquidos orgánicos del exterior para ingresar nutrientes como azúcares y proteínas) bien marcada. Señala que estos cambios pueden estar relacionados con una mayor absorción de nutrientes por parte de los animales que

recibieron la zeolita. En el presente experimento no se evaluaron perfiles metabólicos, sin embargo, no es aberrante, por la diferencia de eficiencia energética observado para las corderas suplementadas con zeolita que la respuesta a nivel sanguíneo haya sido congruente con los resultados obtenidos por Nesterov (1984) y por Karatzi et al. (2013).

Otra posibilidad del efecto de la adición de ciertos compuestos minerales a la dieta es el potencial cambio en la tasa de dilución con subsecuente incremento en la eficiencia microbiana y eficiencia. Sin embargo, en el caso de la zeolitas, estas no han mostrado efecto sobre la cinética y la tasa de fermentación ruminal cuando se suplementó a niveles de 1g/kg de peso vivo o 3.6% de la dieta (Galyean y Chabot, 1981).

Contrariamente, otros estudios no han detectado efecto alguno cuando la zeolita ha sido añadida a las dietas (Pond, 1989; Matthews et al., 1999; Dschaak et al., 2010). La efectividad de la zeolita se fundamenta en su potencial de intercambiar iones con el medio que la rodea. Es conocido que la efectividad del intercambio catiónico para un ion determinado está relacionado con la selectividad y la concentración del ion en la solución, de igual manera la presencia de iones competitivos (por carga eléctrica) afecta la capacidad de retención-liberación del ion en cuestión (Semmens, 1984). En el medio gastrointestinal la concentración de iones competitivos puede variar enormemente con los cambios de pH a medida que la ingesta transita por el TGI (Pond, 1989). Considerando que la naturaleza de la dieta, el nivel de consumo, las características del procesamiento del grano y forraje, así como la solubilidad de los compuestos nitrogenados afectan la

capacidad buffer del rumen (Geishauser et al., 2012) y que las zeolitas naturales varían ampliamente en sus propiedades físicas y su pureza (Mumpton, 1984; Shepard, 1984); entonces, es de esperarse la variación de los resultados entre los diferentes experimentos cuando la zeolita es probada. Adicionalmente, si se considera que el nivel de suplementación parece afectar el potencial de captación por parte de la zeolita (Trackova et al., 2004).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados observados en el presente experimento y a otros estudios es posible afirmar que:

En general se pueden esperar respuestas positivas a la adición de la zeolita en dietas para rumiantes que contengan alto nivel de PC, o que contengan alto porcentaje de solubilidad del N, o ambas condiciones, y que, los niveles utilizados se encuentren entre 2 y 3% de la dieta.

El uso de zeolita en dietas de finalización altas en proteína para corderos puede ofrecer ventajas en la eficiencia de utilización del N y por consiguiente en la utilización de la energía en ese tipo de dietas.

LITERATURA CITADA

- AOAC, 2000. Official methods of analysis. 17th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem. Gaithersburg, MD.
- Berrios, I., M. Castro and M. Cárdenas. 1983. Inclusión de zeolita en los piensos para gallinas ponedoras alimentadas *ad libitum*. Revista Cubana De Ciencia Agrícola 1983, 17:157.
- Bosh, P., and I. Schifter. 1997. La Zeolita una piedra que hierve. Fondo de cultura económica (2da ed.).
- Cannas, A., L.O. Tedeschi, D.G. Fox, A.N. Pell and P. J. Van Soest. 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. J. Anim. Sci. 82: 149-169.
- Canton, J.G. and J. A Quintal. 2007. Evaluation of growth and carcass characteristics of pure Pelibuey sheep and their cross with Dorper and Kathdin breeds. J. Anim. Sci. 85(Suppl. 1), 581. (Abstr.).
- Castro, M. 2005. Uso de aditivos en la alimentación de animales monogástricos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 39: 451-458.
- Castro, M. and E. Lon-Wo. 1991. Las zeolitas naturales cubanas. Sus aplicaciones en cerdos y aves. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 25:213.
- Castro, M. and M. Iglesias. 1989. Efecto de la zeolita en dietas tradicionales para cerdos en ceba. Revista Cubana De Ciencia Agrícola 1989, 23:273.

- Chica-Toro, F. J., B. L. M. Londoño and H. M. I. Álvarez. 2006. La zeolita en la mitigación ambiental. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 3, núm. 1, pp. 30-34.
- Delgado, A., A. Molina and I. León. 1996. Zeolita como reguladora del consumo de proteína natural en añojos alimentados con forraje y suplementados con miel-urea. *Revista cubana de Ciencia Agrícola* 1996,30:265.
- Díaz, C. P. and E. Lon-Wo. 1998. Uso de la caña de azúcar en la alimentación de cerdos y aves en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 1998, 32:107.
- Dschaak, C. M., J. S. Eun, A. J. Young, R. D. Stott and S. Peterson. 2010. Effects of Supplementation of Natural Zeolite on Intake, Digestion, Ruminal Fermentation, and Lactational Performance of Dairy Cows. *Professional Animal Scientist* vol. 26 no. 6: 647-654. Disponible en: <http://pas.fass.org/content/26/6/647.abstract>. Accesado el 23 de abril del 2011.
- Erickson G. and T. Klopfenstein. 2010. Nutritional and management methods to decrease nitrogen losses from beef feedlots. *J Anim. Sci.* 88:E172-E180. Disponible en: http://jas.fass.org/content/88/13_electronic_suppl/E172.full.pdf+html?sid=5a2066e3-d0cb-4842-8365-7b7105caa835. Accesado el 08 de agosto de 2011.

- Estrada-Angulo, A., Y. S. Valdés, O. Carrillo-Muro, B.I. Castro-Pérez, A. Barreras, M.A. López-Soto, A. *Plascencia*, H. Dávila-Ramos, F.G. Ríos , and R.A. Zinn. 2013. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. *Anim. Prod. Sci.* 53: 308-315.
- Galyean, M. L. and R. C. Chabot. 1981. Effects of Sodium Bentonite, Buffer Salts, Cement Kiln Dust and Clinoptilolite on Rumen Characteristics of Beef Steers Fed a High Roughage Diet. *J. Anim. Sci.* 52:1197-1204.
- García, L. R., A. Elías, J. Pérez de la Paz, and G. González. 1988. Uso de zeolita en vacas lecheras. Efecto en la composición Láctea. *Revista Cubana de Ciencia Animal* pp. 22:33.
- García, L. R., A. Elías, and M. A. Menchaca. 1992. Uso de zeolitas en vacas lecheras. Efecto en la producción de leche. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* pp. 26:133.
- Geishauser, T., N. Linhart, A. Neidl and A.Reimann. 2012. Factors associated with ruminal pH at herd level. *J. Dairy Sci.* 95:4556–4567.
- Gómez, R.S. 2011. Estrategias de mitigación y reducción del impacto ambiental de la ganadería. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal –INIFAP. XXXIX Reunión anual Asociación Mexicana de Producción Animal y Seguridad Alimentaria, AMPA. Memoria de congreso.

- Gutiérrez, O., L. Castro and A. Oramas. 1999. Efectos de la zeolita en la excreción fecal de nitrógeno y minerales en carneros con dietas de forraje verde y pienso comercial. *Revista Cubana De Ciencia Agrícola*, 33:291.
- Hernández, M. A., F. Rojas, I. Corona, V. H. Lara, R. Portillo, M. A. Salgado and V. Petranoskii. 2005. Evaluación de la porosidad de zeolitas naturales por medio de curvas diferenciales de adsorción. *Revista internacional de contaminación ambiental* vol. 21, No 2. Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/22563>. Accesado el 04 de agosto de 2011.
- Jorgensen, T.C. and L. R. Weatherley. 2003. Ammonia removal from wastewater by ion exchange in the presence of organic contaminants. *Water research* 37: 1723-1728.
- Karatzia, A. M., D. K. Panagiotis and H. Karatzia. 2013. Diet supplementation with clinoptilolite improves energy status, reproductive efficiency and increases milk yield in dairy heifers. *Anim. Prod. sci.*
- Krushensky, R. D., S. M. Cargill and G. L. Raines. 1987. Proceeding of a workshop on development of mineral energy, and water resources and mitigation of geologic hazards in central America. Universidad de California, San Diego. pp. 109-112.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Straub, and R. D. Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

- Lon-Wo, E., F. Pérez and J. L. González. 1987. Inclusión de 5% de zeolita (Clinoptilolita) en dietas para pollos de ceba en condiciones de producción. Revista Cubana Ciencia Agrícola 21: 169.
- Lon-Wo, E., V. Zaldivar and E. Margolle. 1993. Efecto de las zeolitas naturales en la alimentación avícola con diferentes planos nutricionales o alta contaminación por micotoxinas. Revista Cubana De Ciencias Agrícolas 27:207.
- Ly, J., E. Lon-Wo and M. Castro. 1996. Balance de N y energía en credos alimentados con dietas de mieles y zeolitas naturales cubanas de distintos yacimientos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 30:295.
- Matthews, J. O., L. L. Southern and T. D. Bidner. 1999. Effect of a hydrated sodium calcium aluminosilicate on growth performance and carcass traits of pigs. The Professional Animal Scientist 15:196-200. Disponible en: <http://pas.fass.org/content/15/3/196.full.pdf+html>. Accesado el 01 de mayo del 2012.
- McCollum, F.T. and M. L. Galyean. 1983. Effects of Clinoptilolite on rumen fermentation, digestion and feedlot performance in beef steers fed high concentrate diets. J. Anim. Sci. 56:517.
- Mumpton, A. F. 1999. *La Roca mágica*: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America vol. 96 no. 7 3463-3470. Disponible en:

<http://www.pnas.org/content/96/7/3463.abstract>. Accesado el 13 de abril del 2011.

Mumpton, F. A. 1984. The role of natural zeolites in agriculture and aquaculture. *ZeoAgriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Pp 3-27.

Mumpton, F. A., Fishman, P. H. 1977. The Application of Natural Zeolites in Animal Science and Aquaculture. *J. Anim. Sci.* 45:1188-1203.

Nesterov, N. 1984. Possible applications of natural zeolites in animal husbandry. In: Mumpton, F. A y P. H. Fishman, 1977. The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. *J. Anim. Sci.* 45: 5.

NRC. 1985. Nutrient requirement of sheep. (6th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.

NRC. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed). National Academy of Press. Washington D.C.

NRC, 1997. The Role of Chromium in Animal Nutrition. National. Academy Press, Washington, DC.

NRC. 2000. Nutrient requirement of beef cattle. (7th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, D.C.

NRC, 2007. Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press, Washington, DC.

- Olguín, G. M. T. 2005. Zeolitas Características y Propiedades. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Depto. de Química.
- Ostrooumov, M. 2002. Zeolitas de México: Diversidad mineralógica y aplicaciones. Universidad michoacana de San Nicolás de hidalgo. Disponible en: http://mineralog.net/Articulos_electronicos/ZeolitasMexico.pdf. Accesado el 04 de agosto de 2011.
- Pérez, P., L. M. Fraga, M. C. Bofill, and N. Pérez. 1988. Adición de zeolitas en las dietas con miel fina para pollos de engorde. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 22:179.
- Pond, G. W. 1984. Response of Growing Lambs to Clinoptilolite or Zeolite NaA Added to Corn, Corn-Fish Meal and Corn-Soybean Meal Diets. Journal of Animal Science J. Anim Sci. 59:1320-1328.
- Pond, G. W. 1989. Effects of dietary protein level and clinoptilolite on the weight gain and liver mineral response of growing lambs to copper supplementation. *J. of Anim. Sci.* 67:2772-2781.
- Pulido, R. G. and A. Fehring. 2004. Efecto de la adición de una Zeolita natural sobre la respuesta productiva de terneras de lechería, postdestete. Archivos de Medicina Veterinaria v.36 n.2 Valdivia. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0301-732X2004000200010&script=sci_arttext. Accesado: 10 de mayo de 2012.

- Ríos-Rincón, F.G., H. Dávila-Ramos, A. Estrada-Angulo, A. Plascencia, M.A. López-Soto, B.I. Castro-Perez, J. F. Calderón-Cortes, J. J. Portillo-Loera, And J. C. Robles-Estrada. 2013. Influence of protein and energy level on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of feedlot hair lambs. *Asian-Australasian Journal of animal science* (Aceptado).
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT User's Guide: Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Caroline.
- Semmens, M. 1984. Cation-exchange properties of natural zeolites. Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture. pp 45-53.
- Sheppard, R. A. 1984. Characterization of zeolitic materials in agricultural. *ZeoAgriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Pp 79-87.
- Shurson, G. C., P. K. Ku, E. R. Miller and M. T. Yokoyama. 1984. Effects of Zeolite a or Clinoptilolite in Diets of Growing Swine. *J Anim Sci*. 59:1536-1545.
- Trckova, M., L. Matlova, L. Dvorska and I. Pablick. 2004. Kaolin, bentonite, and zeolites as feed supplements for animals: health advantages and risks. *Vet. Med. – Czech*, 49, (10): 389–399.
- Zinn, R. A., A. Barreras, F.N. Owens, and A. Plascencia. 2008. Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. *J. Anim. Sci*. 86:1-10.