



"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y ESTADO
MINERAL DE CERDOS EN CRECIMIENTO SUPLEMENTADOS CON
DIFERENTES NIVELES DE ZEOLITA**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

NARDA OROZCO DOMÍNGUEZ

Bajo la supervisión de: **Maximino Huerta Bravo, Ph.D.**



APROBADA



Chapingo, México, junio de 2024

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y ESTADO
MINERAL DE CERDOS EN CRECIMIENTO SUPLEMENTADOS CON
DIFERENTES NIVELES DE ZEOLITA**

Tesis realizada por **Narda Orozco Domínguez** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Dr. Agustín Ruíz Flores

ASESOR:



Dr. Sergio Clemente Hernández

Contenido

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIAS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1.1 Producción porcina en México	14
2.1.2 Importancia de la nutrición de los cerdos en México	15
2.1.3 Importancia de los minerales en los cerdos	16
2.2.1 Zeolita (Clinoptilolita)	18
2.2.2 Estructura y propiedades	19
2.2.3 Utilización de zeolita en cerdos	21
2.3. Diagnóstico y determinación mineral	23
2.4 Literatura citada	25
3. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y ESTADO MINERAL DE CERDOS EN CRECIMIENTO SUPLEMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ZEOLITA	29
3.1 Introducción	29

3.2 Materiales y Métodos	30
3.3 Composición de dietas experimentales	32
3.4 Recolección de muestras sanguíneas.....	33
3.5 Análisis de concentración mineral en suero sanguíneo	33
3.6 Análisis de concentración mineral de zeolita.....	33
3.6 Análisis estadístico	35
3.7 Resultados y discusión.....	37
3.7.1 Parámetros productivos.....	37
3.7.2 Concentración mineral.....	40
3.8 Conclusiones.....	44
3.9 Literatura citada.....	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos de minerales en cerdos (% o cantidad por kilogramo de la dieta).	18
Cuadro 2. Niveles de zeolita y unidades experimentales.....	31
Cuadro 3. Dietas basales y composición nutrimental por etapa	32
Cuadro 4. Concentración mineral de zeolitas comerciales (%).	34
Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados para ganancia diaria de peso (kg d^{-1}), consumo de alimento (kg d^{-1}) y eficiencia alimenticia de cerdos alimentados con diferentes niveles de zeolita.	38
Cuadro 6. Concentración mineral en suero sanguíneo de cerdos alimentados con diferentes niveles de zeolita.	40
Cuadro 7. Medias de concentración mineral en suero sanguíneo de cerdos, registrada en tres muestreos.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentraciones medias de Cu, mg L ⁻¹ , registrada en tres momentos diferentes del experimento.....	43
Figura 2. Concentraciones medias de P, mg L ⁻¹ , registrada en tres momentos diferentes del experimento.....	43

DEDICATORIAS

A mis padres, Rafael Orozco Maldonado y África Domínguez Armendáriz, quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo y amor. Gracias por guiarme con paciencia y alentarme a alcanzar mis metas académicas.

A mis hermanos, Diego y César, quienes siempre han sido mi red de apoyo incondicional.

A mis amigos de maestría, Lupita, Andrea, Carlos, Alvin y Noé, quienes han hecho más llevadera mi estancia aquí. Su compañía, colaboración y amistad han sido valiosas durante esta travesía académica.

A mis amigos y compañeros de la granja experimental, por su ayuda durante este proyecto. Su colaboración ha sido esencial para el desarrollo de esta investigación, y valoro profundamente su dedicación y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a las diversas instituciones y personas que han sido fundamentales en la realización de mi Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera.

Extiendo mi gratitud al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo financiero, mismo que ha hecho posible llevar a cabo este importante proyecto de investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al programa de Posgrado en Producción Animal.

Al Dr. Maximino Huerta Bravo por su dirección y apoyo en la dirección de esta investigación. Su experiencia y guía ha sido fundamental para la culminación de esta investigación y será la pieza clave en mi formación como investigadora.

Al Dr. Sergio Clemente Hernández y el Dr. Agustín Ruíz Flores, por su apoyo y correcciones durante la realización de este trabajo.

Asimismo, agradezco a todos los profesores del Posgrado en Producción Animal por su contribución a mi formación durante esta etapa académica.

A todos aquellos que han sido parte de este viaje académico, gracias por su compromiso, orientación y apoyo. Este logro no hubiera sido posible sin la contribución valiosa de cada uno de ustedes.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Narda Orozco Domínguez
Fecha de nacimiento	04 de junio de 1997
Lugar de nacimiento	Morelia, Michoacán
CURP	OODN970604MMNRMR03
Profesión	Ingeniero Agrónomo en Producción
Cédula Profesional	12971216

Desarrollo académico

Maestría en Ciencias (2023-2024)	DEIS en Zootecnia Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura (2015-2020)	Universidad de la Salle Bajío

RESUMEN

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y ESTADO MINERAL DE CERDOS EN CRECIMIENTO SUPLEMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ZEOLITA

Se evaluó el efecto de diferentes niveles de zeolita en el comportamiento productivo y estado mineral de cerdos en crecimiento. Se utilizaron 60 cerdos con un peso promedio inicial de 20 kg, hasta que alcanzaron un peso promedio final de 90 kg. Los niveles de zeolita evaluados fueron 0, 3, 6 y 9 % de inclusión en las dietas para cada una de sus etapas. El análisis estadístico se realizó con el procedimiento GLM del Statistical Analysis System (SAS) para un diseño completamente al azar y la comparación múltiple de medias se hizo a través de la prueba Tukey. Para probar combinaciones específicas en las variables de respuesta en función del nivel de zeolita, se utilizaron contrastes ortogonales. Para analizar la concentración mineral en suero sanguíneo se recolectaron muestras de sangre a los 60, 77 y 90 d del experimento. La inclusión de 3 % de zeolita en la dieta mejoró significativamente ($p < 0.05$) la GDP en los animales sin afectar significativamente ($p > 0.05$) el consumo ni la eficiencia alimenticia. Los elementos Cu, Ca, Mg, y P se mantuvieron dentro del rango normal establecido, sin embargo, Zn, Fe, K, Na y Mn estuvieron por encima de los niveles considerados adecuados. El nivel de inclusión de zeolita modificó ($p < 0.05$) las concentraciones de Na y Mn, mientras que el efecto días del experimento mostro diferencia ($p < 0.05$) en las concentraciones de: Zn, Cu, Mg, K, Na, Mn y P. La relación entre la zeolita y las concentraciones minerales depende del mineral, el nivel de zeolita y el tiempo de exposición.

*

Palabras clave: zeolita, comportamiento productivo, alimentación, cerdos.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE PRODUCTIVE PERFORMANCE AND MINERAL STATUS OF GROWING PIGS SUPPLEMENTED WITH DIFFERENT LEVELS OF ZEOLITE

The effect of various levels of zeolite on the productive performance and mineral status of growing pigs was evaluated. Sixty pigs were used with an initial average body weight of 20 kg. The assessed treatments included 0, 3, 6, and 9 % of zeolite in their diets for each growth stage until they reached 90 kg. The statistical analysis was performed using the GLM procedure of the Statistical Analysis System (SAS) program for a completely randomized design. The comparison of means was done with the Tukey test. Orthogonal contrasts were used to test a specific combination of the response variables depending on the zeolite level. Blood samples were collected at 60, 77, and 90 d of the experiment to analyze mineral concentration in serum. The inclusion of 3% zeolite in the diet significantly improved ($p<0.05$) the ADG in the animals without significantly affecting ($p>0.05$) the intake or feed efficiency. The elements Cu, Ca, Mg, and P remained within the established normal range, however, Zn, Fe, K, Na and Mn were above the levels considered adequate. The level of zeolite inclusion modified ($p<0.05$) the concentrations of Na and Mn, while the effect of days of the experiment showed a difference ($p<0.05$) in the concentrations of Zn, Cu, Mg, K, Na, Mn, and P. The association between zeolite and mineral concentrations depends on the mineral, zeolite level, and exposure time.

*

Key words: Zeolite, productive behavior, feeding, pigs

1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción pecuaria la alimentación representa entre 60 y 85 % del costo de producción; por tanto, uno de los factores más importantes en cualquier unidad de producción es que las especies utilicen de manera eficiente los nutrimentos requeridos para su mantenimiento, crecimiento, producción y reproducción (Shimada, 2003).

La búsqueda de ingredientes alternativos en la alimentación animal persigue un doble objetivo: optimizar costos y satisfacer las necesidades nutricionales de los animales sin afectar el valor nutritivo de las dietas (Meléndez & Rodríguez, 2004). Sin embargo, esta búsqueda enfrenta un problema, que es el uso de aditivos como antibióticos promotores de crecimiento, hormonas y ácidos orgánicos, que si bien mejoran el rendimiento productivo, generan preocupación por su impacto en la salud animal, el consumidor y el medio ambiente (Sampath et al., 2023).

Se ha encontrado que el uso de minerales arcillosos como zeolitas dentro de la formulación de dietas, ayudan a regular los procesos digestivos mediante la adsorción de toxinas y patógenos, la estabilización en la microflora intestinal y la mejora en absorción de nutrientes, mejorando así el comportamiento productivo y el metabolismo del N en rumiantes y no rumiantes (Gutiérrez et al., 2008; Meléndez & Rodríguez, 2004). Sin embargo, aún falta investigación respecto a estos minerales.

La zeolita se descubrió en 1756 por el sueco Barón Alex Frederick Cronstedt (Curi et al., 2006). Su uso para producción animal se desarrolló hace más de 40 años en Japón, China, Bulgaria, Georgia, y más recientemente en EUA, Eslovaquia, Francia, Colombia, Brasil, Venezuela, México, España y Cuba (Cosma, 2008). Es un aluminosilicato hidratado cristalino de cationes alcalinos y alcalinotérreos con una estructura tridimensional abierta e infinita, capaz de perder y ganar agua de forma reversible e intercambiar cationes; esta estructura

le permite formar sistemas de canales tridimensionales que actúan como almacenes de nutrientes y agua para plantas y animales (Mumpton, 1999).

HIFOS (2020) reporta que las zeolitas tienen la capacidad de adsorber el exceso de agua, lo que hace que los excrementos sean menos húmedos y los corrales permanecen más tiempo limpios, reduciendo así la probabilidad de epidemias y la proliferación de moscas y parásitos. En el caso de los procesos catalíticos las zeolitas presentes en el sistema digestivo de los animales absorben una parte de los nutrientes ingeridos en sus cavidades, reteniéndolos por un tiempo determinado y luego liberándolos gradualmente; este proceso de dosificación contribuye a que el animal aproveche de manera más eficiente los alimentos que consume (Cosma, 2008). Por tanto, con el objetivo de evaluar el comportamiento productivo y estado mineral de los animales, se utilizó como prueba experimental dietas suplementadas con diferentes niveles de zeolita para cerdos en crecimiento.

El presente trabajo se estructura en tres capítulos que abordan distintos aspectos relacionados con la investigación propuesta. En el Capítulo Dos, se aborda la revisión de la literatura con el propósito de ofrecer una base que facilite la comprensión de la información presentada en el Capítulo Tres; en este último se encuentra la metodología implementada para la realización del experimento, se presentan los resultados y se desarrolla una discusión y conclusiones derivadas de la investigación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.1 Producción porcina en México

La porcicultura en México es una importante actividad pecuaria, proporciona a la población una de las principales fuentes de proteína. Actualmente la carne de cerdo en el país ocupa el segundo lugar en consumo, después de la de pollo. Sin embargo, hay dos razones principales por las que no siempre se puede producir suficiente carne para satisfacer la demanda: la capacidad interna de producción de carne está por debajo del ritmo de consumo, y también existe un segmento productivo enfocado en la exportación (CMC, 2023).

En 2023 la producción nacional de carne de cerdo creció 2.2 %, comparada con el volumen observado el 2022, alcanzando 1 millón 768 mil ton. Ese mismo año el volumen de carne de cerdo exportada fue inferior a las 200 mil ton, lo que se atribuyó principalmente a menores compras por parte de sus dos principales clientes: Japón y Estados Unidos; en cuanto a las importaciones destacó la incorporación de Brasil como un nuevo proveedor de carne para México. En total, el comercio internacional de carne de cerdo de México generó un flujo monetario de 3 mil 816 millones de dólares, lo que representó un aumento del 1.6 % en comparación con el 2022 (Salazar, 2023).

También es una de las principales actividades dentro de la economía nacional. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022), indicó que genera 350 mil empleos directos y 1.7 millones de manera indirecta, siendo los principales estados productores Jalisco, Sonora, Puebla, Veracruz y Yucatán.

2.1.2 Importancia de la nutrición de los cerdos en México

La alimentación eficiente de los cerdos es fundamental, ya que influye no solo en su productividad, sino también en la rentabilidad de las granjas (CMC, 2021). Los requerimientos nutricionales de los cerdos están determinados por diversos factores, como raza, sexo, línea genética, etapa de desarrollo, disponibilidad de nutrientes, consumo, ambiente y estado sanitario del animal (Rostango Horacio et al., 2017).

En la alimentación de los cerdos existe una gran variedad de ingredientes que pueden utilizarse en la formulación de una dieta. El nivel de uso de estos ingredientes, está determinado por la composición nutrimental del ingrediente, las restricciones nutricionales que tenga para las diferentes etapas productivas y del requerimiento de nutrimental a cubrir (Campabadal, 2009).

En México, el maíz y el sorgo son las principales fuentes de energía utilizadas en la alimentación porcina, complementadas con la pasta de soya como fuente de proteína; vitaminas y minerales son agregados comúnmente a la dieta en forma de premezclas. Sin embargo, el panorama actual se ve afectado por el alza en los precios de los alimentos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el índice de precios de los alimentos experimentó en 2022 un aumento global del 12.6 % (SENASICA, 2022). Este incremento impactó negativamente el precio de cereales y energéticos, repercutiendo en mayores costos de producción para la elaboración y transporte del alimento.

Por tanto, uno de los principales retos en México es reducir la dependencia de las materias primas de importación, ya que la industria de alimentos importa 39 % de maíz amarillo; 60 % de trigo y 96 % de soya, y casi 100 % de los micronutrientes (SMATTCOM, 2022).

2.1.3 Importancia de los minerales en los cerdos

Sampath et al. (2023) mencionan que los minerales representan un porcentaje pequeño en la dieta de los porcinos, sin embargo, juegan un papel importante en la salud, bienestar y rendimiento de los animales, desempeñan un rol en el metabolismo y sus requerimientos varían según su etapa fisiológica, las deficiencias o excesos minerales también pueden ser perjudiciales para los animales.

Los alimentos comerciales y cereales contienen vitaminas y minerales requeridos para la alimentación porcina. Sin embargo, su biodisponibilidad es variable ya que algunos de estos ingredientes contienen niveles inadecuados para satisfacer las necesidades de los cerdos, por lo que es necesario ajustar estos requerimientos (Miller & Kornegay, 1983).

Los requerimientos minerales se dividen en macrominerales y minerales traza, los macrominerales son importantes en varios procesos biológicos, abarcando desde la estructura del ADN y ARN hasta el desarrollo óseo, el equilibrio electrolítico y el rendimiento durante el crecimiento. Estos macrominerales son calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K) y magnesio (Mg), y son los más comúnmente suplementados en las dietas porcinas (PIC, 2022).

El NRC (2012) indicó que una relación adecuada de Ca:P depende de: un suministro adecuado de cada elemento en una forma disponible en la dieta; una proporción adecuada de Ca y P disponibles en la dieta; y la presencia de una cantidad adecuada de vitamina D. También menciona que concentraciones muy elevadas de Ca, reducen la absorción de P, teniendo como resultado un crecimiento reducido y calcificación ósea. Sugiere una relación de Ca y P totales, para dietas con harina de grano y soya sea entre 1:1 y 1.25:1.

Por su parte, Na y Cl son el principal catión y anión extracelular, respectivamente; estos minerales desempeñan un papel en el mantenimiento de la homeostasis de agua y electrolitos, así como en la regulación del pH y la absorción de

nutrientes. Los cerdos son capaces de tolerar concentraciones elevadas de sal, siempre y cuando dispongan de un acceso adecuado a agua potable. La sal de mesa, utilizada en la elaboración de estas dietas contiene alrededor del 39.5 % de Na y el 59 % de Cl. La falta de Na o Cl puede disminuir el consumo de alimento, afectar la ganancia diaria de peso y deteriorar la eficiencia alimentaria. Además, la carencia de sal puede inducir comportamientos como el mordisqueo de colas (NRC, 2012; PIC 2022).

El Mg actúa como cofactor para más de 300 enzimas. Óxidos, carbonatos y sulfatos son fuentes altamente disponibles de magnesio, siendo el de magnesio (MgO) la principal fuente en la alimentación del ganado. La suplementación de magnesio se recomienda como una práctica para mejorar el rendimiento de los animales, especialmente en términos de fertilidad y desempeño general. Los signos de deficiencia incluyen hiperirritabilidad, espasmos musculares, cuartillas débiles, pérdida del equilibrio y tetania seguida de muerte. Otro macroelemento importante es el potasio, este es el tercer mineral más abundante en el organismo de los cerdos y participa en el equilibrio electrolítico y la función neuromuscular, sirve como catión monovalente para equilibrar los aniones intracelulares y como parte del mecanismo fisiológico de la bomba Na-K. Los signos de deficiencia de K incluyen inapetencia, pelaje áspero, desnutrición, inactividad y ataxia (NRC, 2012).

La suplementación de minerales traza también juega un papel importante en la alimentación de los cerdos, dentro de estos nutrientes se encuentran zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu), yodo (I) y selenio (Se). Estos minerales se presentan en formas tanto inorgánicas (sulfatos, óxidos, cloruros, etc.) como orgánicas (quelatos, proteinatos, etc.), siendo las inorgánicas las más utilizadas. Estos minerales son cofactores esenciales para cientos de enzimas celulares y factores de transcripción, también participan en los procesos bioquímicos. Su insuficiencia puede causar déficit en procesos como el desarrollo del sistema inmunológico, la formación y mantenimiento de tejidos y huesos, la defensa contra el estrés oxidativo, así como el crecimiento y la división celular. Cabe

destacar que la estabilidad y disponibilidad de la fuente de minerales traza puede variar significativamente por factores relacionados con la fuente de minerales, los niveles de inclusión, la forma física o la interacción con otro mineral (Richards et al., 2010).

Cuadro 1. Requerimientos de minerales en cerdos (% o cantidad por kilogramo de la dieta).

Minerales		Peso corporal (kg)				
		11 - 23	23 - 41	51 -59	59 - 82	82 -104
Calcio ^z	%	0.71	0.70	0.64	0.58	0.53
P disponible ^z	%	0.37	0.30	0.28	0.26	0.25
Sodio ^y	%	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25
Cloruro ^y	%	0.32	0.25	0.25	0.25	0.25
Magnesio ^y	%	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Zinc ^y	ppm	130	111	98	78	65
Hierro ^y	ppm	130	11	98	78	65
Manganeso ^y	ppm	50	43	38	30	25
Cobre	ppm	18	15	14	11	9
Yodo ^y	ppm	0.65	0.55	0.49	0.39	0.33
Selenio ^y	ppm	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25

^z PIC (2016), ^y PIC (2022).

2.2.1 Zeolita (Clinoptilolita)

El término zeolita viene del griego *zéo* y *líthos* que quiere decir piedra efervescente; actualmente existen más de 40 especies descritas de zeolitas naturales y cientos de zeolitas artificiales. Los depósitos minerales se explotan comercialmente en muchos países, siendo China el mayor productor y consumidor de zeolitas del mundo (Curi et al., 2006). Por sus múltiples propiedades y estructura algunos la han nombrado “Roca mágica” o “Super mineral”.

Las zeolitas se forman a partir de ceniza volcánica de grano fino, que son arrastradas a lagos salinos someros o en las costas, normalmente asociadas a minerales de arcilla; las cenizas reaccionan con el agua salina y se transforman en cristales micrométricos de zeolita (Geoxnet, 2014).

El Subcomité de Zeolitas de la Asociación Mineralógica Internacional y Comisión de Nuevos Minerales y Nombres de Minerales (1997), define zeolita a cualquier sustancia cristalina con estructura caracterizada por un marco de tetraedros entrelazados, cada uno de los cuales consta de cuatro átomos de oxígeno que rodean un catión. Este marco contiene cavidades abiertas, en forma de canales y “jaulas”, ocupadas por moléculas de agua y cationes extra estructurales, que son intercambiables.

El primer yacimiento importante de zeolita en México fue encontrado por el Dr. Frederick Mumpton en el estado de Oaxaca, es de esperarse que siendo México un país con numerosas zonas volcánicas, los yacimientos de zeolita sean abundantes, dentro de estos los más importantes se encuentran en Oaxaca y Sonora, aunque también existen depósitos en los estados de Guanajuato, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz, Guerrero, Michoacán y Puebla (Jiménez, 2004).

2.2.2 Estructura y propiedades

Las zeolitas pertenecen al grupo de arcillas más estudiadas, que son los aluminosilicatos, los cuales se dividen en dos subclases de acuerdo con su estructura espacial: filosilicatos y tectosilicato (Delgado, 2022)

Los filosilicatos presentan estructuras laminares formadas por capas tetraédricas, donde los tetraedros comparten tres vértices entre sí, y capas octaédricas donde se alojan los cationes (principalmente Al, Mg y Fe), estos adsorben sustancias en su superficie o dentro de su espacio interlaminar: incluyen adsorbentes importantes como los grupos de esmectitas, caolinita e illita o arcilla-mica (Museo Virtual de Mineralogía, 2018).

Los tectosilicatos, como las zeolitas, son minerales formados por una red tridimensional de grupos de óxido de silicio (SiO_4) y óxido de aluminio (AlO_4) entrelazados, esto les confiere una gran capacidad para almacenar gases y pequeñas moléculas. Una característica de estos minerales es que algunas de las siliconas tetravalentes de su estructura se reemplazan por aluminio trivalente,

generando cationes inorgánicos como iones Na, Ca y K que carecen de carga positiva (Delgado, 2022). Sus grandes cavidades estructurales y los canales de entrada que conducen a ellas contienen moléculas de agua, que forman esferas de hidratación alrededor de cationes intercambiables, al eliminar el agua por calor las moléculas pequeñas pasan a través de los canales y las moléculas grandes se excluyen, dando lugar a su propiedad llamada tamiz molecular (Mumpton, 1999).

Su estructura micro porosa hace que tenga una superficie interna extremadamente grande, en comparación con la externa, esta superficie es la que le otorga su alta capacidad de adsorción; los diámetros de sus poros son de 3 a 10 angstrom y estos poros dictan el tamaño de los iones de zeolita que pueden entrar y someterse a intercambio iónico (Curi et al., 2006; Duque, 2016).

Una de las zeolitas más abundantes es la clinoptilolita, perteneciente al grupo de la heulandita. Este tipo de zeolita presenta una relación molar Si/Al, en la que predominan los iones Na^+ y K^+ , se caracteriza por la presencia de 72 átomos de oxígeno y 24 moléculas de agua, con iones de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Tiene un sistema de canales micro porosos, intersectantes con anillos de 8 y 10 miembros; la menor presencia de aluminio en esta red, le otorga una mayor resistencia térmica. Su capacidad de intercambio catiónico alcanza valores cercanos a 150 mmol kg, con selectividad catiónica en: $\text{NH}_4^+ > \text{Pb}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$. También tienen afinidad hacia K^+ y su capacidad de adsorción de NH_4^+ se incrementa cuando disminuye el pH, debido a esta característica, la clinoptilolita se usa como un intercambiador iónico efectivo (López et al., 2010).

Gracias a su estructura y propiedades a las zeolitas se les atribuyen múltiples usos en la agricultura, construcción, absorción de Cs (Cesio) y Sr (Estroncio) de residuos nucleares y lluvias radiactivas, en la eliminación de amoníaco de aguas residuales, como suplementos dietéticos en animales, como absorbentes de amoníaco del estiércol animal y como filtros de amoníaco en unidades de diálisis renal (Mumpton, 1999).

2.2.3 Utilización de zeolita en cerdos

Entre los diversos tipos de zeolitas, la clinoptilolita destaca por su uso en la cría de animales como aditivo alimentario, gracias a su capacidad de intercambio con el amonio y su efecto desodorante. Este enfoque ha captado interés debido a su mayor eficiencia en la utilización del alimento y a la incidencia de enfermedades intestinales. Además, la capacidad de adsorción de las zeolitas conduce a una disminución de la concentración intestinal de amoníaco, el cual se libera gradualmente durante la digestión, fomentando así una mejor asimilación del nitrógeno presente en el alimento, menor excreción de nitrógeno y, a su vez, menores emisiones de NH_3 (Dinuccio et al., 2022).

Estos mismos autores indicaron que la información sobre los efectos de la zeolita en el rendimiento animal es inconsistente, ya que en algunos estudios no se ha observado ningún efecto o incluso una ligera disminución en el rendimiento, mientras que en otros se han reportado mejoras significativas. Esta variabilidad puede deberse a factores como la dosis de inclusión, el tipo de dieta, la genética y edad de los animales o las condiciones de manejo. La influencia de las zeolitas en la eficiencia de la utilización del alimento podría tener un impacto positivo en la reducción de las emisiones de metano (CH_4) por parte de los cerdos, esto vinculado a la capacidad fermentativa del intestino posterior y al tiempo de tránsito en el proceso digestivo.

El manejo y alimentación de cerdos en etapa de destete, es de suma importancia, ya que pasan de consumir una dieta líquida a una sólida, por tanto, hay una serie de retos en su fisiología digestiva y sistema inmune. Durante esta etapa de transición es frecuente observar problemas de diarreas en los animales, ocasionando bajos parámetros productivos y altas tasas de mortalidad (Fairbrother, 2015).

Según, Santana y Almeida (2021), las granjas frecuentemente recurren al uso de antibióticos, buscando una solución a estos problemas, sin embargo, el uso excesivo de estos productos puede generar problemas al animal. Martínez et al.

(2004) realizaron un experimento con lechones recién destetados, donde compararan el uso de gentamicina, eritromicina y zeolita natural para el tratamiento de procesos diarreicos provocados por *E. coli*; como resultado obtuvieron que al agregar 100 g d⁻¹ de zeolita en el alimento durante tres días, la recuperación de los animales fue similar a la obtenida con eritromicina (33.33 % de animales recuperados para ambos casos) con respecto a la gentamicina donde se obtuvo un 16.67 % de animales recuperados.

En otro experimento con dos grupos de lechones, sin adición y con 2 % de clinoptilolita en la dieta, encontraron diferencia significativa ($p < 0.05$) para ganancia diaria de peso (0.547 vs 0.549 g d⁻¹), dieta control y el tratamiento respectivamente. De igual forma para conversión alimenticia (1.78 vs 1.74 g d⁻¹), respectivamente; la incidencia de diarreas también fue baja para el grupo tratado con zeolita (13 vs 21 casos para el grupo control) (Sardi et al., 2002). Según Martínez et al. (2004), este mecanismo de control de diarreas se asocia a su capacidad de adsorción de toxinas bacterianas y su habilidad para secuestrar sustancias tóxicas como las micotoxinas.

En un estudio realizado por Mikhailova et al. (2022) se evaluó el efecto de la inclusión de 0, 3, 4 y 5 % de zeolita en dietas para cerdos jóvenes, encontraron que la mejor dosis de inclusión fue 3 % de zeolita, el incremento de peso vivo de los cerdos aumentó 13.6 %, en el tercer grupo 7.2 % y en el cuarto grupo experimental disminuyó un 4.4 % en comparación con el grupo control.

La zeolita utilizada como biocatalizador constituye un componente esencial para la microflora estomacal y la higiene del medio interno del organismo, tiene la capacidad de modificar y mejorar el espacio pericelular de manera positiva, actuando como catalizador en los procesos bioquímicos del cuerpo de los animales y proporcionando aditivos esenciales. Las propiedades de absorción e intercambio catiónico de la zeolita contribuyen a la eliminación de amoníaco y metales pesados del cuerpo, además, atrae el exceso de agua presente en el organismo, reduciendo el trabajo intestinal y disminuyendo la velocidad de movimiento de nutrientes, minerales y sustancias biológicamente activas a lo

largo del tracto gastrointestinal, esto asegura una mejor digestibilidad y absorción. Simultáneamente, favorece la formación de heces más densas, reduciendo la posibilidad de desarrollar diarrea. Todo esto contribuye a mejorar el efecto productivo del alimento, lo que se traduce en un aumento de la productividad y una reducción de costos por kg de ganancia (Mikhailova et al., 2022).

Se ha reportado que la inclusión de zeolita en la dieta puede alterar las concentraciones de minerales tanto en la sangre como en los tejidos de los animales. Alexopoulos et al. (2007) indicaron que una de las inquietudes derivadas del uso de la zeolita es su posible interacción con los componentes de esta, como los minerales, debido a su capacidad de adsorción no específica y su habilidad para realizar intercambios iónicos. En un estudio realizado por Enemark et al. (2003) se analizaron los cambios bioquímicos en suero y orina de vacas lecheras durante y después de la administración oral de zeolita. Los resultados revelaron que la suplementación de zeolita tuvo un impacto significativo ($p < 0.05$) en la homeostasis del calcio, se observó una ligera disminución en los niveles séricos del calcio y en la excreción renal al inicio de la suplementación, mientras que después de retirar la zeolita se registró un aumento en este parámetro. Otro estudio llevado a cabo por Pond et al. (1984), en el que se alimentaron corderos en crecimiento con dietas enriquecidas con 3 % de zeolita, se observó que esta no tuvo ningún efecto significativo ($p > 0.05$) en las concentraciones plasmáticas de proteína, Ca, P, Mg, Na o K.

2.3. Diagnóstico y determinación mineral

Un diagnóstico mineral permite identificar deficiencias o excesos en la ingesta de minerales y garantizar la salud y el rendimiento óptimo del ganado. El diagnóstico implica la identificación de la composición mineral de las fuentes que el animal consume o que influyen en su composición. Este proceso incluye el análisis de la sangre de los animales, así como del suelo, agua y la caracterización de estas deficiencias, ya sean primarias o secundarias, con el propósito de establecer un control efectivo mediante un adecuado plan de suplementación (Ramos, 2009).

Existen diversos métodos para determinar minerales, pero el más usado es la determinación utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica. El principio de la espectrofotometría de absorción atómica es similar al de la espectrofotometría de emisión, excepto que se mide la energía que absorben los átomos en vez de medir la energía que estos emiten. El elemento de interés en la muestra se disocia de sus enlaces químicos y se coloca en un estado no excitado, no ionizado y de energía mínima, en estas condiciones el elemento es capaz de absorber la radiación externa que es la que se mide; cada elemento tiene su propio espectro de emisión y absorción, utiliza lámparas de cátodo hueco como fuentes de luz o energía, este cátodo está revestido por el elemento que se va a analizar, la luz proveniente de la lámpara pasa por una llama en la cual se aspira la muestra que se analizará, los átomos absorben la radiación, por tanto, la señal disminuye y ese dato es lo que mide el detector, mismo que se transforma en una concentración, el grado de absorción es proporcional a la concentración del elemento de la muestra aspirada (Fick et al., 1979).

2.4 Literatura citada

- Alexopoulos, C., Papaioannou, D. S., Fortomaris, P., Kyriakis, C. S., Tserveni-Goussi, A., Yannakopoulos, A., & Kyriakis, S. C. (2007). Experimental study on the effect of in-feed administration of a clinoptilolite-rich tuff on certain biochemical and hematological parameters of growing and fattening pigs. *Livestock Science*, 111(3), 230-241. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.152>.
- Campabadal C. (2009). Guía técnica para alimentación de cerdos. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L02-7847.PDF>. Consultada el 12 de septiembre de 2022.
- Consejo Mexicano de la Carne (CMC). (2021). Factores Disruptivos para los Cárnicos y Precios Hacia el 2022. Disponible en: https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/05/COMECARNE_11may2021.pdf Consultada el 08 de septiembre de 2022.
- Consejo Mexicano de la Carne (CMC). (2023). Compendio estadístico. Disponible en: <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2023/> Consultada el 06 de mayo de 2024.
- Cosma F., D. (2008). Utilización de una zeolita natural (clinoptilolita) en la alimentación de conejos en fase de engorde. Tesis Profesional, Universidad de la Salle, Bogotá. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/313>. Consultada el 27 de julio de 2022.
- Curi, A., Wilmer, J. V., Lima, H. M., & Sousa, W. T. (2006). Las zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes mineros. *Información Tecnológica*, 17, 111-118. doi.org/10.4067/
- Delgado C., A. (2022). Evaluación in vitro de moléculas de quitosano modificadas químicamente como adsorbentes de aflatoxina B1. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, Monterrey. Consultada en <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/23189>
- Dinuccio, E., Maffia, J., Lazzaroni, C., Airolidi, G., Balsari, P., & Biagini, D. (2022) Clinoptilolite (E567), a natural zeolite, inclusion in heavy-pig diets: effect on the productive performance and gaseous emissions during fattening and manure storage. *Journal of Agricultural Engineering*, 53(1). doi: 10.4081/jae.2022.1290.
- Duque, P. M. (2016). Evaluación del uso de la zeolita sobre la ganancia de peso y enfermedades gastrointestinales en producciones porcícolas. Tesis Profesional, Escuela de Ciencias Agrícola, Pecuarias y del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia. Consultada en <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13906/53894762.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Enemark, J. M., Frandsen, A. M., Thilsing-Hansen, T., & Jorgensen, R. J. (2003). Aspects of physiological effects of sodium zeolite A supplementation in dry, non-pregnant dairy cows fed grass silage. *Acta Veterinaria Scandinavica. Supplementum*. 97,97-117. Consultada en: <https://europepmc.org/article/MED/14621400>
- Fairbrother, M. J. (2015). Diarrea post-destete, diagnóstico, tratamiento y control. Comunidad profesional porcina. https://www.3tres3.com/articulos/diarrea-post-destete-diagnostico-tratamiento-y-control_34860/ Consultada el 22 de noviembre 2022.
- Geoxnet. (2014). Zeolitas. <https://post.geoxnet.com/zeolitas/> Consultada el 15 de diciembre de 2022.
- Gutiérrez O., Galindo J., Oramas A., & Cairo J. (2008). Efecto de la suplementación con bentonita y zeolita en la protección de la proteína ruminal. Estudios in vivo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(3),255-258. Consultada en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015504005>.
- HIFOS. (2020). Bentonita Activada Térmicamente. <http://www.hifos.com.mx/bentonita/>. Consultada el 10 de diciembre de 2022.
- Jiménez J., M. (2004). Caracterización de minerales zeolíticos mexicanos. Tesis Profesional, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Consultada en https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/022/37022042.pdf
- López R., M., Hernández E., M., Barahona A., C., Martínez G., M., Portillo R., R., & Rojas G., F. (2010). Propiedades fisicoquímicas de la clinoptilolita tratada con fertilizantes a usar como aditivo en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Terra Latinoamericana*, 28, 247-254. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Martínez M., Castro M., Hidalgo K., Ayala L., Pérez R., Hernández L., & Báez L. (2004). La utilización efectiva de la zeolita natural para el control de las diarreas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38, (4), 395-398. Consultada en <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017793008.pdf>
- Meléndez M., & Rodríguez J. (2004). Evaluación de tres niveles de zeolita como promotor natural de crecimiento en dietas en las fases de inicio y acabado de cerdos confinados. Consultada en <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2355/1/4696.pdf>.
- Mikhailova, L. R., Zhestyanova, L. V., Lavrentiev, A., Yu., Kostomakhin, N. M., & Sherne V. S. (2022). The effectiveness of use of natural zeolites in feeding of young pigs. *Niva Povolzhya*, 6. [10.33920/sel-03-2206-02](https://doi.org/10.33920/sel-03-2206-02)

- Miller, E. R., & Kornegay, E. T. (1983). Mineral and vitamin nutrition of swine. *Journal of Animal Science*. 57, 315-329. Consultado en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6352588/>
- Mumpton, A. F. (1999). Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *PNAS*, 96, (7), 3463-3470. doi.org/10.1073/pnas.96.7.3463
- Museo virtual de mineralogía. (2018). Silicatos. <https://www.uhu.es/museovirtualdemineralogia/galerias/clase8.html> Consultado el 22 de septiembre de 2022.
- NRC. (2012). Nutrient Requirements of swine. National Academy Press. Washington, D.C, USA.
- PIC. (2016). Manual de Especificación de Nutrientes.
- PIC. (2022). Recomendaciones de Nutrición y alimentación PIC.
- Rostango Horacio, Teixeira Albino, L. F., Melisa Izabel, H., Juarez Lopez, D., Kazue Sakomura, N., Guilherme Perazzo, F., ... Clauson de Oliveira, B. (2017). Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos. (4th ed.). Vicosa: UFV.
- Pond W. G., Laurent S. M., & Orloff H. D. (1984). Effect of dietary clinoptilolite or zeolite Na A on body weight gain and feed utilization of growing lambs fed urea or intact protein as a nitrogen supplement. *Zeolites*, 4(2), 127-132. [https://doi.org/10.1016/0144-2449\(84\)90050-2](https://doi.org/10.1016/0144-2449(84)90050-2)
- Ramos P. (2009). Diagnóstico del estado mineral de bovinos para carne pastoreando en la región Huasteca alta. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.
- Richards, J. D., Zhao, J. Harrell, R. J., Atwell, C. A., & Dibner, J. (2010). Trace mineral nutrition in poultry and swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(11), 1527-1534. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.07>
- Salazar E. (2023). Panorama anual del mercado cárnico en México 2023. Consejo Mexicano de Carne. Disponible en: <https://comecarne.org/panorama-anual-de-mercado-carnico-de-mexico-2023/> Consultada el 06 de mayo 2024.
- Santana G., E., & Almeida R., A. (2021). Uso de zeolita en dietas de lechones en etapa de destete. Tesis Profesional, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. Consultado en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/7067/1/CPA-2021-T047.pdf>
- Sardi, L., Martelli, G., Parisini, P., Cessi, E., & Mordenti, A. (2002) The effects of clinoptilolite on piglet and heavy pig production. *Italian Journal of Animal Science*, 1(2), 103-111. <https://doi.org/10.4081/ijas.2002.103>
- Sampath, V., Sureshkumar, S., Seok, W. J., & Kim, I. H. (2023). Role and functions of micro and macro-minerals in swine nutrition: a short review. *Journal of Animal Science and Technology*, 65(3), 479–489. [10.5187/jast.2023.e9](https://doi.org/10.5187/jast.2023.e9)

SENASICA. (2022). Crece 2.0 % producción de carne de cerdo en México, impulsada por estándares de sanidad e inocuidad. Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/prensa/crece-2-0-produccion-de-carne-de-cerdo-en-mexico-impulsada-por-estandares-de-sanidad-e-inocuidad-297747> Consultada el 06 de junio de 2023.

Shimada, A. (2003). Nutrición Animal. Editorial Trillas. México, D. F.

SMATTCOM. (2022). Alza de precios y menor disponibilidad de materias primas y alimento balanceado para el sector Agropecuario. Disponible en: <https://smattcom.com/blog/alza-precios-menor-disponibilidad-materias-primas-alimento-balanceado-sector-agropecuario> Consultada el 07 de julio de 2023.

3. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y ESTADO MINERAL DE CERDOS EN CRECIMIENTO SUPLEMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ZEOLITA

3.1 Introducción

Una nutrición adecuada es esencial para el crecimiento y desarrollo óptimo de los cerdos, de ella no solo dependen los rendimientos productivos, sino también la rentabilidad de las granjas; por ello la industria porcina está constantemente buscando mejorar la eficiencia mediante una nutrición precisa y equilibrada, que dé resultados positivos en el bienestar, salud, productividad y sostenibilidad de las granjas.

Algunos investigadores establecen que el uso de zeolita como aditivo natural dentro de la formulación de dietas para cerdos ayuda a mejorar los parámetros productivos y la salud de los animales. Song et al. (2012) realizaron experimentos para determinar si la zeolita natural reducía la diarrea en cerdos destetados infectados con *Escherichia coli*. Estos autores concluyeron que, en los grupos infectados, la adición de zeolita redujo los grados de diarrea significativamente ($p<0.05$).

En un estudio realizado por Defang y Nikishov (2009) se evaluó el efecto de suplementación de zeolita natural en proporción de 0, 3, 4 y 5 % como parte de la dieta de cerdos en crecimiento, los resultados mostraron que la inclusión de 4 % de zeolita tuvo una mejora significativa ($p<0.05$) en la ganancia diaria de peso y la tasa de conversión alimenticia de los cerdos. Por otro lado, Leung (2004) evaluó la inclusión de 0, 2, 4 y 6 % de zeolita, con niveles altos y bajos de proteína y energía en la dieta de cerdos de 23 a 110 kg de peso vivo, encontró efecto significativo ($p<0.05$) en el que las dietas bajas en proteína adicionadas con 4 % de zeolita tuvieron un comportamiento similar a los animales alimentados con exceso de proteína.

Diversos estudios, como los de Alexopoulos et al. (2007), Enemark et al. (2003) y Pond et al. (1984), han investigado el uso de zeolita en las dietas de los animales y su efecto en la concentración de minerales en sangre y tejidos. Sin embargo, los resultados obtenidos difieren, ya que algunos investigadores han encontrado un efecto ($p < 0.05$) en la concentración mineral, mientras que otros no han observado ningún efecto.

Con base en estos antecedentes, el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento productivo y estado mineral de cerdos en crecimiento, alimentados con cuatro dietas basales adicionadas con 0, 3, 6 y 9 % de zeolita.

3.2 Materiales y Métodos

Ubicación

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del módulo de porcinos de la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México.

Animales

Para el desarrollo del experimento se utilizaron 60 cerdos (34 machos y 26 hembras), con un peso promedio inicial de 20 kg y una edad aproximada de 51 d, provenientes de cerdas híbridas cruzadas con sementales Hampshire y Duroc de diferente número de partos.

Tratamientos

Se probaron cuatro niveles de zeolita con tres repeticiones cada uno, para cada nivel se tomó en cuenta un corral como unidad experimental (Cuadro 2).

Cuadro 2. Niveles de zeolita y unidades experimentales

Nivel de zeolita	Unidades experimentales	Animales/Nivel zeolita
0 %	3	15
3 %	3	15
6 %	3	15
9 %	3	15
Total de animales		60

El experimento duró 90 d, más seis días de adaptación a la dieta; el ciclo completo fue dividido en cinco periodos con un peso inicial promedio de 20 kg y un peso final de 90 kg. Las dietas se formularon para cubrir los requerimientos nutricionales recomendados por (Rostango Horacio et al., 2017) en cada una de sus etapas, a ellas se les adicionó 0, 3, 6 o 9 % de zeolita (Cuadro 3). Las dietas se elaboraron en la planta de alimentos de la Granja Experimental, para ello se utilizó una mezcladora horizontal de paletas con capacidad de 500 kg.

En primer y segundo periodo los cerdos se alojaron en módulos de dos jaulas con piso de plástico, un comedero de cinco bocas doble y bebedero tipo chupón. Se asignaron 15 cerdos por cada jaula.

A partir del periodo tres, con peso promedio de 36.7 kg, los cerdos se alojaron en 12 corrales con piso de cemento, comedero de tolva y bebedero de pileta. Se asignaron cinco cerdos por cada corral (cada corral representó una unidad experimental). Para su manejo adecuado y bienestar animal se siguieron las recomendaciones dadas por el manual de buenas prácticas pecuarias para cerdos (DIRSA, 2016). Los animales se desparasitaron y vitaminaron antes de empezar el experimento.

Después del pesaje inicial, los cerdos se pesaron nuevamente a los 7, 21, 60, 77 y 90 d del experimento y se registraron las ganancias de peso por corral. El alimento se ofreció a libre acceso; para el cálculo de consumo de alimento se midió el alimento ofrecido y rechazado, dividiendo esta diferencia entre el número de días. La eficiencia alimenticia se calculó dividiendo la ganancia diaria de peso

entre el alimento consumido. Estos datos se procesaron en hojas de registro, para su posterior análisis considerando como variables de respuesta: peso inicial, peso total, consumo de alimento, ganancia de peso y eficiencia alimenticia.

3.3 Composición de dietas experimentales

Cuadro 3. Dietas basales y composición nutrimental por etapa

Ingrediente	Inicio de 0 a 21 días (%)	Crecimiento de 22 a 41 días (%)	Desarrollo de 42 a 60 días (%)	Final de 61 a 90 días (%)
Maíz amarillo	70.23	74.35	77.74	80.91
Pasta de soya	25.52	22.54	20.02	17.01
Carbonato de calcio	0.86	0.89	0.67	0.48
Ortofosfato	0.64	0.42	0.24	0.25
Aceite de soya	0.80	0.32	0.00	0.00
Premezcla de minerales traza ^z	0.30	0.30	0.30	0.30
Sal	0.50	0.50	0.50	0.50
Lisina	0.56	0.42	0.31	0.25
Treonina	0.23	0.16	0.09	0.13
Colina	0.10	0.09	0.09	0.09
Acidomix	0.10	0.00	0.00	0.00
Metionina	0.16	0.00	0.04	0.08
Halqinol 60%	0.01	0.01	0.01	0.01
Zeolita, niveles agregados ^y	----- Ver nota al pie -----			
	Análisis calculado			
EM cerdos (Mcal kg ⁻¹)	3.36	3.35	3.35	3.36
PC (%)	18.45	17.16	16.09	14.95
Lisina total (%)	1.36	1.17	1.02	0.89
Metionina total (%)	0.48	0.41	0.34	0.36
Met+Cis total	0.78	0.70	0.61	0.62
Calcio (%)	0.74	0.70	0.58	0.50
Fósforo total (%)	0.64	0.59	0.54	0.53

^z Premezcla de vitaminas y minerales traza (aporte por kg de dieta): Vit. A 2'204,000 U.I.; Vit. D3 406,000 U.I.; Vit. E 10,800 U.I.; Vit K₃ 1.1 g; Vit. B₂ 1.8 g; Vit. B₁₂ 7.2 mg; Niacina 12.4 g; Ácido pantoténico 6.8 g; Cromo orgánico 0.17 g; Hierro 26.67 g; Cobre 4 g; Cobre orgánico 25.9; Manganeso 10 g; Selenio 0.1 g; Yodo 0.2 g; Zinc 33.33 g; Zinc orgánico 7 g; Antioxidante 20 g.

^y Por cada etapa (Inicio, Crecimiento, Desarrollo, Finalización) se realizaron cuatro revolturas con los niveles de inclusión asignados 0, 3, 6 y 9 % de zeolita.

3.4 Recolección de muestras sanguíneas

Se realizaron tres muestreos de sangre, recolectados los días 60, 77 y 90 del experimento, entre las 9:00 y las 11:00 h. Estas muestras se tomaron de la vena yugular externa del animal y fueron recolectadas en tubos al vacío sin aditivos, a cada animal se le extrajeron dos tubos de 10 mL, los cuales posteriormente se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 minutos para separar el suero que fue conservado por congelación en tubos de ensaye de 10 mL.

3.5 Análisis de concentración mineral en suero sanguíneo

En las muestras de suero sanguíneo se determinaron las concentraciones de calcio, magnesio, cobre, sodio, zinc, hierro, potasio, manganeso y fósforo. Estas concentraciones se obtuvieron mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, con un espectrofotómetro modelo AAAnalyst 700 (Perkin Elmer) de acuerdo con el método descrito por Fick et al. (1979).

Para la determinación de macrominerales se utilizó suero desproteinizado (SD), en el caso de Ca y Mg se usó SD + cloruro de lantano, y para P se diluyó SD + ácido tricloroacético. En el caso de los microminerales la lectura se realizó directamente del suero.

3.6 Análisis de concentración mineral de zeolita

Se realizó un análisis de la composición mineral de tres marcas de zeolita natural: a) Mina San Francisco® (MSF), b) Minerales Biojal® (MB) y c) Basáltika Agrominerales® (BA). Por mayor accesibilidad, esta última fue la que se utilizó en el experimento.

Para determinar la concentración mineral de las zeolitas se utilizaron cinco repeticiones por marca y cinco gramos por repetición. Estas fueron procesadas para determinar cenizas y posteriormente solubilizarlas de acuerdo con el método descrito por Fick et al. (1979).

En el Cuadro 4 se presenta el análisis de la composición mineral de las tres zeolitas comerciales.

Cuadro 4. Concentración mineral de zeolitas comerciales (%).

%	BASALTIKA ^z	M.S.F. ^y	BIOJAL ^x	EEM ^w
Ca	0.16	0.35	0.11	0.040
Mg	0.02	0.03	0.02	0.005
Cu	0.00	0.00	0.00	0.000
Na	0.34	0.22	0.10	0.040
Zn	0.00	0.00	0.00	0.000
Fe	1.34	1.09	0.93	0.082
K	0.33	0.18	1.43	0.407
Mn	0.01	0.01	0.00	0.001
P	9.32	7.62	16.76	2.289

^zBasaltika, ^yMina San Francisco, ^xBiojal, ^wError estándar de la media

3.6 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, el análisis estadístico fue por medio del procedimiento GLM del programa Statistical Analysis System (SAS) y la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey con $\alpha = 0.05$.

Las variables de respuesta evaluadas para parámetros productivos fueron: ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento (C), eficiencia alimenticia (EA).

El modelo estadístico correspondiente fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = variable de respuesta,

μ = media general,

T_i = efecto del i -ésimo nivel de zeolita, $i = 0, 3, 6$ y 9%

E_{ij} = error aleatorio $\sim$ NIID $(0, \sigma^2_\varepsilon)$ asociado con la j -ésima medida de la variable de respuesta en el i -ésimo nivel de zeolita

Para detectar alguna tendencia en las variables en función del nivel de zeolita, se utilizaron contrastes ortogonales. Para las variables de parámetros productivos se tuvieron cuatro niveles de zeolita y por tanto se probaron los efectos lineales, cuadráticos y cúbicos.

La concentración de cada mineral en suero sanguíneo se analizó con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + TP_{ij} + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta,

μ = media general,

T_i = efecto del i-ésimo nivel de zeolita, $i = 0, 3, 6$ y 9%

P_j = efecto del j-ésimo tiempo $j = 60, 77$ y 90 d,

TP_{ij} = efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de zeolita y el j-ésimo tiempo,

E_{ijk} = error aleatorio $\sim$ NIID $(0, \sigma^2_\epsilon)$ asociado con la observación k bajo el i-ésimo nivel de zeolita y el j-ésimo tiempo.

3.7 Resultados y discusión

3.7.1 Parámetros productivos

En el Cuadro 5 se presentan los resultados del comportamiento productivo de cerdos alimentados con distintos niveles de zeolita, incluyendo la ganancia diaria de peso, el consumo y la eficiencia alimenticia. La variable ganancia diaria de peso fue diferente significativamente entre niveles de zeolita ($p < 0.05$), encontrando que la inclusión de 3 % de zeolita en el ciclo completo tuvo los mejores resultados. Sin embargo, las variables consumo de alimento y eficiencia alimenticia no fueron afectadas significativamente ($p > 0.05$). Considerando que la zeolita fue adicionada a la dieta y ocasiona un efecto diluyente de la concentración nutrimental, este resultado implica que la zeolita mejora la utilización del resto de los ingredientes y sus nutrimentos.

Los contrastes ortogonales mostraron que los efectos lineales, cuadráticos y cúbicos para GDP fueron significativos ($p < 0.05$). En particular la ganancia global de peso se incrementó al pasar de 0 a 3 % de zeolita, posteriormente disminuyó, lo que implica un efecto cuadrático.

Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados para ganancia diaria de peso (kg d^{-1}), consumo de alimento (kg d^{-1}) y eficiencia alimenticia de cerdos alimentados con diferentes niveles de zeolita.

Periodo, días	ZEOLITA (%)				<i>p</i>	Contraste ortogonal
	0	3	6	9		
Ganancia diaria de peso (kg d ⁻¹)						
0 - 7	0.548 ^b	0.711 ^a	0.689 ^b	0.483 ^c	<.0001	Q***
8 - 21	0.668 ^b	0.612 ^b	1.07 ^a	1.127 ^a	0.005	L**C*
22 - 60	0.737 ^b	0.914 ^a	0.712 ^b	0.68 ^b	0.156	Q*
61 - 77	0.665	0.731	0.736	0.819	0.387	NS
78 - 90	0.525	0.724	1.03	0.625	0.263	NS
0 - 90	0.690 ^b	0.865 ^a	0.741 ^{ab}	0.717 ^b	0.064	Q*
Consumo de alimento (kg d ⁻¹) ^z						
22 - 60	2.06	2.12	2.05	2.06	0.305	NS
61 - 77	2.32	2.65	1.64	2.16	0.446	NS
78 - 90	2.60	2.73	2.74	3.02	0.613	NS
22 - 90	2.32	2.50	2.15	2.41	0.458	NS
Eficiencia alimenticia (kg de GDP kg de consumo ⁻¹) ^y						
22 - 60	0.35	0.43	0.34	0.32	0.205	NS
61 - 77	0.27	0.23	0.48	0.39	0.400	NS
78 - 90	0.20	0.28	0.36	0.21	0.346	NS
22 - 90	0.27	0.31	0.40	0.31	0.159	NS

a,b,c Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). Efecto de contrastes ortogonales; L, Q, C: lineal, cuadrático y cúbico, respectivamente. NS, *, **, ***; No significativo y significativo a una $p \leq 0.05$, 0,01, 0.001, respectivamente. ^z, ^y Tanto consumo como eficiencia son promedios por periodo, dado que no se midió consumo individual.

Los resultados obtenidos reflejan similitudes con los hallazgos de Defang y Nikishov (2009), quienes reportaron un aumento en la GDP en cerdos en etapa de crecimiento y finalización alimentados con una dieta suplementada con 4 % de zeolita natural. Alexopoulos et al. (2007) demostraron en otro estudio que con la inclusión de 2 % de zeolita la GDP para el periodo de destete y durante todo el periodo de seguimiento mejoró respecto al grupo sin zeolita (0.656 vs 0.621 g d^{-1}), respectivamente. Por el contrario, Méndez (2009) evaluó el efecto de 0, 2 y 4 % de zeolita en dietas de cerdos de 13 a 99 kg de peso vivo; encontró que la adición de zeolita en la dieta no afectó significativamente ($p < 0.05$) GDP, pero sí aumentó el consumo e índice de conversión alimenticia para el grupo tratado con 4 % de zeolita. Sin embargo, observó una mejora en la conversión alimenticia con 2 % de zeolita, y el consumo no se incrementó en comparación con el grupo

control. Los estudios sugieren que el aumento en el consumo se podría deber al incremento del volumen en las dietas enriquecidas con zeolita, así como a la compensación de los animales por el efecto diluyente de energía mediante la adición de zeolita. Sin embargo, Alexopoulos et al. (2007) mencionan que, al excluir la cantidad de zeolita incluida, observaron que los valores estimados de consumo fueron similares entre los grupos experimentales, dado que la zeolita permanece casi intacta durante su paso por el tracto gastrointestinal y su digestibilidad se considera nula.

Los efectos promotores de la zeolita se atribuyen a su alta afinidad hacia los compuestos nitrogenados que facilita la adsorción de componentes nocivos derivados de la actividad microbiana como el amoníaco. Además, contribuye a una conversión más eficiente del nitrógeno presente en el alimento, y su propiedad catalítica que mejora su capacidad de absorción como aditivo para alimento. Asimismo, disminuye la velocidad de tránsito del alimento en el tubo digestivo y lo retiene por un tiempo prolongado, lo que, junto con una actividad microbiana incrementada en el intestino delgado, favorece una mejor utilización de la proteína y, por ende, influye en la ganancia de peso de los animales (Dinuuccio et al., 2022; Mikhailova et al., 2022; Prvuloviae et al., 2009).

3.7.2 Concentración mineral

El efecto principal de la inclusión de zeolita sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de los cerdos se muestra en el Cuadro 6. Las concentraciones de Cu, Ca, Mg y P en el suero sanguíneo se mantuvieron dentro de los niveles adecuados según los criterios establecidos por Puls (1994). Sin embargo, los niveles de Zn, Fe, K, Na y Mn excedieron los rangos considerados normales.

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en los elementos Na y Mn. Los niveles de Mn aumentaron linealmente con el incremento en la concentración de zeolita, mientras que, la concentración de Na disminuyó al pasar de 0 a 3 % de zeolita y posteriormente incrementó, lo que implica un efecto cuadrático. También se encontró efecto lineal ($p < 0.05$) para los elementos K y P, la concentración de K aumenta con el nivel de zeolita, por el contrario, P disminuye cuando el nivel de zeolita aumenta.

Cuadro 6. Concentración mineral en suero sanguíneo de cerdos alimentados con diferentes niveles de zeolita.

Mineral	Zeolita %					Rango normal ^z	Contraste ortogonal
	0	3	6	9	<i>p</i>		
Zn, mg L ⁻¹	1.5	1.7	1.8	1.7	0.339	0.7-1.5	NS
Fe, mg L ⁻¹	5.6	5.6	6.7	7.7	0.516	1.0-1.5	NS
Cu, mg L ⁻¹	1.7	1.5	1.6	1.5	0.325	1.3-3.0	NS
Ca, mg L ⁻¹	75	78	71	88	0.101	80-130	NS
Mg, mg L ⁻¹	24	25	24	27	0.316	18-39	NS
K, mg L ⁻¹	301	302	371	509	0.082	136-207	L*
Na, mg L ⁻¹	8132 ^a	4986 ^b	6377 ^{ab}	7004 ^{ab}	0.04	3220-3450	Q*
Mn, mg L ⁻¹	242 ^c	293 ^b	322 ^b	386 ^a	<.0001	0.04	L***
P, mg L ⁻¹	99	99	86	83	0.106	60-110	L*

^{a,b,c} Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). Efecto de contrastes ortogonales; L, Q, C: lineal, cuadrático y cúbico, respectivamente. NS, *, **, ***; No significativo y significativo a una $p \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectivamente. ^zPuls (1994).

Se han llevado a cabo estudios para evaluar el impacto del uso dietético de zeolitas naturales en las concentraciones de vitaminas y minerales en la sangre y tejidos corporales de cerdos. Papaioannou et al. (2002) encontraron que la suplementación de zeolita natural en las dietas para cerdas reproductoras no tuvo efecto ($p>0.05$) sobre la absorción y distribución de vitaminas y minerales (K, Na, P, Ca, Mg, Cu y Zn), ya que no se observaron cambios en sus concentraciones en el suero sanguíneo ni en el hígado. Experimentos similares realizados en corderos (Pond et al., 1984) y cerdos en crecimiento (Alexopoulos et al., 2007) utilizando dietas con 2 o 3 % de zeolita tampoco mostraron un impacto significativo en las concentraciones de Ca, P, Mg, Na o K. Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con estos hallazgos, especialmente en relación con los elementos Zn, Fe, Cu, Ca, Mg, K y P.

En el Cuadro 7 se presenta el efecto principal de días del experimento, indica que este factor mostró diferencia ($p<0.05$) en las concentraciones de: Zn, Cu, Mg, K, Na, Mn y P, pero no las de Fe y Ca. Esto significa que las concentraciones de estos minerales cambiaron a lo largo del experimento.

Se encontró efecto lineal para Zn y Na, en el que su concentración disminuyó al avanzar el experimento. Así mismo un efecto cuadrático ($p<0.001$) en el que la concentración de Cu fue mayor al día 77 del experimento, mientras que los elementos Mg, K, Mn y P estuvieron en menores concentraciones al día 77 del experimento (efecto cuadrático).

Cuadro 7. Medias de concentración mineral en suero sanguíneo de cerdos, registrada en tres muestreos.

Mineral	Días del experimento (d)			p	Contraste ortogonal	Rango normal
	60	77	90			
Zn, mg L ⁻¹	2.9 ^a	1.1 ^b	1.0 ^b	<.0001	L***	0.7-1.5
Fe, mg L ⁻¹	4.8	7.7	6.6	0.119	NS	1.0-1.5
Cu, mg L ⁻¹	1.5 ^b	1.9 ^a	1.4 ^b	<.0001	Q***	1.3-3.0
Ca, mg L ⁻¹	83	77	74	0.299	NS	80-130
Mg, mg L ⁻¹	30 ^a	22 ^b	24 ^b	<.0001	Q**	18-39
K, mg L ⁻¹	348 ^b	226 ^b	538 ^a	<.0001	Q**	136-207
Na, mg L ⁻¹	8494 ^a	7636 ^b	3745 ^b	<.0001	L***	3220-3450
Mn, mg L ⁻¹	461 ^a	147 ^c	324 ^b	<.0001	Q***	0.04
P, mg L ⁻¹	110 ^a	77 ^b	88 ^b	<.0001	Q***	60-110

a.b.c Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p\leq 0.05$). Efecto de contrastes ortogonales; L, Q, C: lineal, cuadrático y cúbico, respectivamente. NS, *, **, ***; No significativo y significativo a una $p\leq 0.05$, 0,01, 0.001, respectivamente.

En la Figura 1 y 2 se muestran la interacción de los efectos nivel de zeolita y días del experimento, se encontró un efecto significativo ($p < 0.05$) para las concentraciones de Cu y P, pero no las de Zn, Fe, Ca, Mg, K, Na y Mn.

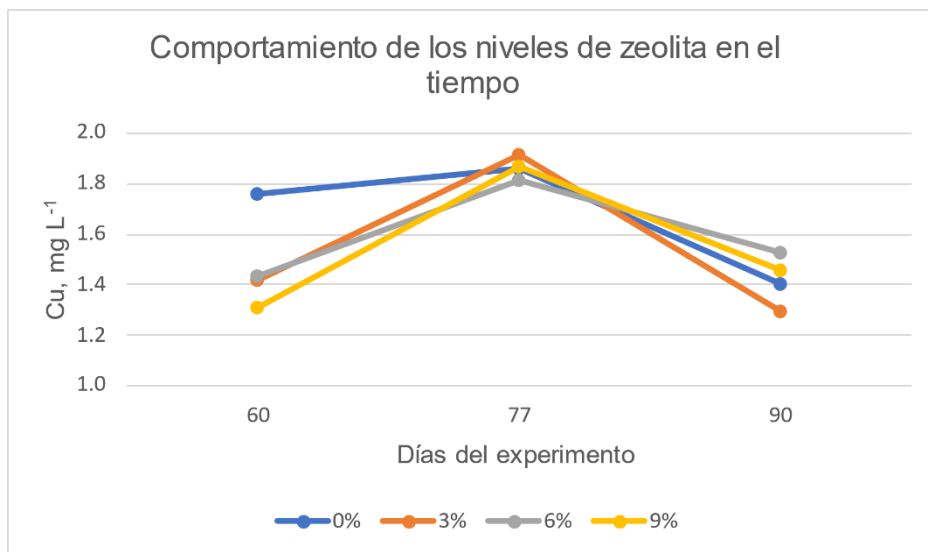


Figura 1. Concentraciones medias de Cu, mg L⁻¹, registrada en tres momentos diferentes del experimento

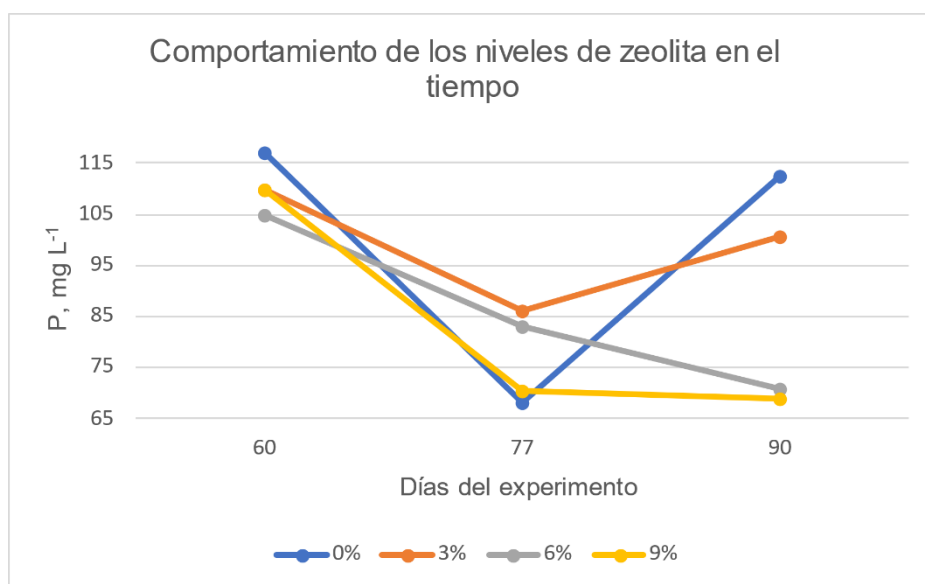


Figura 2. Concentraciones medias de P, mg L⁻¹, registrada en tres momentos diferentes del experimento

En la Figura 1 muestra la relación entre la concentración de cobre en suero sanguíneo y el nivel de zeolita en los días de experimento. La concentración de cobre varía con el tiempo y el nivel de zeolita, el efecto de nivel de zeolita sobre la concentración de cobre depende del día del experimento. En forma general el gráfico muestra que la concentración de cobre en suero sanguíneo aumenta en el día 77 y después de seguir recibiendo zeolita disminuye su concentración.

En la Figura 2 se puede observar que con niveles más altos de zeolita 6 y 9 %, se encontraron niveles más bajos de fósforo; en comparación con los que llevaban 0 y 3 % de zeolita, también se encontró que para estos mismos niveles la concentración de zeolita disminuye progresivamente conforme los cerdos siguen recibiendo zeolita. Shurson et al. (1984) afirmaron que la zeolita ejerce un efecto reductor sobre la concentración sérica del fósforo, atribuido a la formación de fosfatos insolubles tras la interferencia del fósforo con los iones de aluminio liberados por el material zeolítico degradado. La estabilidad de las zeolitas en soluciones ácidas está determinada principalmente por la relación Si/Al de su estructura. Se argumentó que la zeolita es estable en el entorno ácido del estómago y el duodeno, sin experimentar degradación y, por ende, afectando la disponibilidad de fósforo.

3.8 Conclusiones

La suplementación de las dietas con 3 % de zeolita natural mejora la ganancia diaria de peso sin afectar negativamente el consumo, la eficiencia alimenticia ni la condición general de los cerdos. Esto sugiere que la suplementación con zeolita es eficaz, ya que, aunque la eficiencia alimenticia se mantiene constante entre los diferentes niveles de zeolita, la ganancia diaria de peso aumenta. El nivel de inclusión de zeolita alteró las concentraciones minerales en el suero sanguíneo de los cerdos, sin embargo, no se observaron efectos adversos en los animales. Es importante señalar que la suplementación con más del 6 % de zeolita podría incidir negativamente en la ganancia diaria de peso de los animales, lo que sugiere tener cuidado al aumentar la cantidad de zeolita en la dieta.

3.9 Literatura citada

- Alexopoulos, C., Papaioannou, D. S., Fortomaris, P., Kyriakis, C. S., Tserveni-Goussi, A., Yannakopoulos, A., & Kyriakis, S. C. (2007). Experimental study on the effect of in-feed administration of a clinoptilolite-rich tuff on certain biochemical and hematological parameters of growing and fattening pigs. *Livestock Science*, 111(3), 230-241. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.152>.
- Defang, H. F., & Nikishov, A. A. (2009). Effect of dietary inclusion of zeolite on performance and carcass quality of grower-finisher pigs. *Livestock Research for Rural Development*, 21, 6. <https://www.lrrd.org/lrrd21/6/defa21090.htm>
- Dinuccio, E., Maffia, J., Lazzaroni, C., Airoidi, G., Balsari, P., & Biagini, D. (2022). Clinoptilolite (E567), a natural zeolite, inclusion in heavy-pig diets: effect on the productive performance and gaseous emissions during fattening and manure storage. *Journal of Agricultural Engineering*, 53(1). doi: 10.4081/jae.2022.1290.
- DIRSA. (2016). Manual de buenas prácticas pecuarias en bovinos, porcinos y aves. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. Disponible en: <https://www.oirsa.org/contenido/biblioteca/Manual%20de%20buenas%20pr%C3%A1cticas%20pecuarias%20en%20bovinos,%20porcinos%20y%20aves.pdf> Consultada el 23 de Agosto de 2022.
- Enemark, J. M., Frandsen, A. M., Thilsing-Hansen, T., & Jorgensen, R. J. (2003). Aspects of physiological effects of sodium zeolite A supplementation in dry, non-pregnant dairy cows fed grass silage. *Acta Veterinaria Scandinavica. Supplementum*. 97,97-117. Consultada en: <https://europepmc.org/article/MED/14621400>
- Fick, K. R., McDowell, L. R., Miles, H. P., Wilkinson, S. N., Funnk, D. J., Conrad, H. J., & Valdivia, R. (1979). Métodos de análisis para tejidos de plantas y animals. Segunda edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358.
- Leung, S. (2004). The effect of clinoptilolite properties and supplementation levels on swine performance. Tesis de maestría. McGill University, Montreal, Canada. Consultada en: <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/1j92q8126>
- Méndez, B. (2009). Utilización de zeolita en la alimentación de cerdos para abasto. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. Consultada en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3931/T18883%20M%C3%89NDEZ%20ARG%C3%9CELO%20,%20BULMARO%20TESIS.pdf?sequence=1>

- Mikhailova, L. R., Zhestyanova, L. V., Lavrentiev, A., Yu., Kostomakhin, N. M., & Sherne V. S. (2022). The effectiveness of use of natural zeolites in feeding of young pigs. *Niva Povolzhya*, 6. doi.org/10.33920/sel-03-2206-02
- NRC. (2012). Nutrient Requirements of swine. National Academy Press. Washington, D.C, USA.
- Papaioannou D., Kyriakis S.C., Papasteriadis A., Roumbies N., Yannakopoulos A., & Alexopoulos C. (2002). Effect of in-feed inclusion of a natural zeolite (clinoptilolite) on certain vitamin, macro and trace element concentrations in the blood, liver and kidney tissues of sows. *Research in Veterinary Science*, 72(1), 61-68. <https://doi.org/10.1053/rvsc.2001.0524>
- PIC. (2016). Manual de Especificación de Nutrientes. Disponible en: https://www.pic.com/wp-content/uploads/sites/3/2018/10/Nutrient-Specifications-Manual_2016_Spanish.pdf
- PIC. (2022). Recomendaciones de Nutricion y alimentación PIC. Disponible en: <https://latam.pic.com/recursos/>
- Puls, R. (1994). Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic data. Editor Sherpa International. Clearbrook, Canada.
- Pond W. G., Laurent S. M., & Orloff H. D. (1984). Effect of dietary clinoptilolite or zeolite Na A on body weight gain and feed utilization of growing lambs fed urea or intact protein as a nitrogen supplement. *Zeolites*, 4(2), 127-132. [https://doi.org/10.1016/0144-2449\(84\)90050-2](https://doi.org/10.1016/0144-2449(84)90050-2)
- Prvuloviae D., Kosarèiae S., Popoviae M., & Grubor-Lajsiae G. (2009). Efecto de los aluminosilicatos hidratados dietéticos en el crecimiento y los indicadores sanguíneos de cerdos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(1), 61-66.
- Shurson G., C., Ku P. K., Miller E. R., & Yokoyama M. T. (1984). Effects of Zeolite A or Clinoptilolite in Diets of Growing Swine, *Journal of Animal Science*, 59, (6) 1536–1545, <https://doi.org/10.2527/jas1984.5961536x>
- Song M., Liu Y., Soares J. A., Che T. M., Osuna O., Maddox C. W., & Pettigrew J. E. (2012). Dietary clays alleviate diarrhea of weaned pigs. *Journal of Animal Science*, 90, 345–360. doi.org/10.2527/jas.2010-3662
- Rostango Horacio, Teixeira Albino, L. F., Melisa Izabel, H., Juares Lopez, D., Kazue Sakomura, N., Guilherme Perazzo, F., Saraiva, A., Lobão Teixeira de Abreu, M., Borges Rodrigues, P., Flávia de Oliveira, R., Luiz de Toledo Barreto, L., & Clauson de Oliveira, B. (2017). Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos (H. S. Rostagno, Ed.; 4th ed.).