



Effect of natural zeolite on the growth, productive performance and serum parameters of pigs †

[Efecto de zeolita natural sobre el crecimiento, rendimiento productivo y parámetros séricos de cerdos]

Bulmaro Méndez-Argüello, Santa Dolores Carreño-Ruiz,
Rubén Monroy-Hernández, Israel Martínez-Cruz,
Juan Carlos Torres-Ramírez and Froylan Rosales-Martínez*

Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios.
Carretera Catazajá-Palenque Km. 4 C.P. 29980, Catazajá, Chiapas, México.

Emails: bulmaro.mendez@unach.mx, santa.carreno@unach.mx,
ruben.monroy@unach.mx, israel.martinez@unach.mx, carlos.torres@unach.mx,
froylan.rosales@unach.mx *

*Corresponding author

SUMMARY

Background: In recent years, intensive animal production has negatively contributed to environmental pollution, primarily through substantial emissions of greenhouse gases. **Objective:** To determine the effect of including 0, 3, and 6 % clinoptilolite zeolite in the diet on productive performance, blood parameters, and nitrogen reduction in the feces of pigs. **Methodology:** The trial was conducted using a completely randomized block design with three treatments (0, 3, and 6 % zeolite in the diet, respectively) and three replicates per treatment. The experimental unit was the pen containing six animals (three castrated males and three females), resulting in nine pens (3 blocks × 3 replicates) with a total of 54 pigs. Blocks were formed to group animals with homogeneous initial conditions (initial body weight (BW), age, and physical location). The experiment was carried out in three production phases: starter (11 ± 2 kg BW), grower (30 ± 2 kg BW), and finisher (60 ± 2 kg BW), concluding with final weights of 95.0 ± 5.0 kg. The study lasted 116 days, plus 15 days for adaptation to handling and diet. Diets differed in crude protein content according to each production stage. **Results:** No effects were observed on productive performance variables; however, clinoptilolite zeolite (ZC) affected blood concentrations of total proteins ($p \leq 0.01$) and urea ($p \leq 0.01$) during the grower and finisher phases. Additionally, fecal N concentration decreased in all production stages. **Implications:** ZC can improve protein metabolism and reduce nitrogen excretion without compromising productivity, providing environmental benefits. **Conclusions:** The inclusion of 3 and 6 % ZC did not influence the productive performance of the animals in any of the three evaluated phases. Nevertheless, its supplementation increased blood total protein concentration during the grower stage and reduced urea levels during the finisher phase. Moreover, ZC supplementation significantly decreased fecal nitrogen content across all production stages.

Key words: Food; diets; protein metabolism; animal nutrition; environmental pollution.

RESUMEN

Antecedentes: En los últimos años, la producción intensiva de animales ha contribuido negativamente a la contaminación ambiental, con grandes emisiones de gases de efecto invernadero. **Objetivo:** Determinar el efecto de la inclusión de 0, 3 y 6 % de zeolita clinoptilolita en la dieta, sobre el comportamiento productivo, parámetros sanguíneos y reducción de nitrógeno en las heces de cerdos. **Metodología:** El ensayo se realizó bajo un diseño en bloques completamente al azar con tres tratamientos (0, 3 y 6 % de zeolita en la dieta, respectivamente) y tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue la corraleta con 6 animales (3 machos castrados y tres hembras), formándose nueve corraletas (3 bloques x 3 réplicas) con un total de 54 cerdos. Los bloques se formaron para agrupar condiciones iniciales homogéneas (peso vivo (PV) inicial, edad y ubicación física). El experimento se desarrolló en tres etapas de producción: iniciación (11 ± 2 kg de PV), crecimiento (30 ± 2 kg de PV) y finalización (60 ± 2 kg de PV), concluyendo con pesos de 95.0 ± 5.0 kg; con una duración de 116 d más 15 d de adaptación al manejo y a la dieta. Las dietas

† Submitted May 3, 2025 – Accepted December 14, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6311>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = B. Méndez-Argüello: <https://orcid.org/0000-0003-2647-4290>; S.D. Carreño-Ruiz: <https://orcid.org/0000-0002-5782-193X>; R. Monroy-Hernández: <https://orcid.org/0000-0002-7799-8169>; I. Martínez-Cruz: <https://orcid.org/0000-0001-7553-8356>; J.C. Torres-Ramírez: <https://orcid.org/0009-0004-6155-0716>; F. Rosales-Martínez: <https://orcid.org/0000-0002-3008-6226>

difirieron en el nivel de proteína cruda por etapa. **Resultados:** No se observó efecto en las variables de producción, sin embargo, la zeolita clinoptilolita (ZC) afectó la concentración sanguínea de proteínas totales ($p \leq 0.01$) y urea ($p \leq 0.01$) en las etapas de crecimiento y finalización, así mismo se redujo la concentración de N en heces en todas las etapas productivas. **Implicaciones:** La ZC puede mejorar el metabolismo proteico y reducir la excreción nitrogenada sin comprometer productividad, aportando beneficios ambientales. **Conclusiones:** La inclusión de ZC al 3 y 6 % no afectó el rendimiento productivo de los animales en ninguna de las tres etapas evaluadas. No obstante, su adición incrementó la concentración sanguínea de proteínas totales durante la etapa de crecimiento y disminuyó los niveles de urea en la fase de finalización. Asimismo, la suplementación redujo de manera significativa el contenido fecal de nitrógeno en todas las etapas productivas.

Palabras clave: Alimentos; dietas; metabolismo proteico; nutrición animal; contaminación ambiental.

INTRODUCCIÓN

La intensificación de los sistemas de producción animal ha permitido un aumento sustancial en la obtención de alimentos de origen animal. Sin embargo, en los últimos años se ha observado que la producción intensiva contribuye negativamente a la contaminación ambiental, debido a que a lo largo del ciclo productivo se emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y se excretan minerales como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Wang *et al.*, 2018). Esto ocurre porque la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes es limitada, y aquellos que no son metabolizados se excretan a través de las heces y la orina del animal. Asimismo, la concentración de nutrientes en la dieta y su interacción con aditivos minerales, el estado productivo del animal, el estrés fisiológico y la capacidad de retención del tracto gastrointestinal son factores que reducen la digestibilidad e incrementan la contaminación (Zhang y Adeola, 2017).

En la industria porcina, los principales contaminantes son el N y el P, los animales excretan a la atmósfera entre el 60 y el 80 % del N y el P (Buchinski *et al.*, 2024). Por lo tanto, los problemas ambientales en los sistemas intensivos porcinos están casi totalmente relacionados con el manejo de las excretas, y consecuentemente con el manejo de nutrientes de las dietas (Van Grinsven *et al.*, 2018). Ante esta situación, se requiere la búsqueda de opciones que ayuden a reducir la excreción de nutrientes y mejorar la digestibilidad.

Las zeolitas naturales, como aditivos inorgánicos, regulan los procesos digestivos, mejoran el desempeño productivo y el metabolismo del N en animales no rumiantes. Estos aluminosilicatos están compuestos principalmente de hidrógeno, oxígeno, aluminio y silicio, teniendo la capacidad de capturar el N amoniacal de las excretas y evitar su volatilización masiva a la atmósfera (Urías *et al.*, 2018). Por su capacidad de retener compuestos nitrogenados estos aluminosilicatos han sido empleados en la dieta de diferentes especies animales con resultados prometedores, lo que ha despertado un renovado

interés como un aditivo alimenticio de bajo costo (Saed *et al.*, 2024).

Las zeolitas, tanto naturales como sintéticas, han mostrado gran efectividad en diversas aplicaciones, entre ellas la nanotecnología (Abd Elshafy *et al.*, 2023), biotecnología y la medicina veterinaria. Su utilidad se asocia con características como la alta capacidad de adsorción, una carga negativa y alta capacidad de intercambio catiónico que hacen más digestible la dieta, lo cual contribuye a mejorar el estado nutricional de los animales (Mostafa y Yousif, 2025). Estos materiales comprenden un grupo de más de 40 especies, entre las que predominan la clinoptilolita y la mordenita (Kordala y Wyszowski, 2024). Su estructura molecular atravesada por una infinidad de canales, determina sus propiedades de hidratación y deshidratación (Sharma *et al.*, 2018). Varios estudios han demostrado que estos aluminosilicatos no tienen efectos tóxicos en humanos ni animales y tienen un efecto notable en la reducción de sustancias contaminantes en las excretas animales (Hcini *et al.*, 2018).

La zeolita clinoptilolita (ZC) es identificada como un material altamente nanoporoso, esta propiedad y su elevada capacidad de adsorción de compuestos nitrogenados en comparación con otros aluminosilicatos, respaldan su uso en producción animal (Đuričić *et al.*, 2025). Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la inclusión de 0, 3 y 6 % de zeolita clinoptilolita en la dieta, sobre el comportamiento productivo, parámetros sanguíneos y reducción de N en las heces de cerdos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Instalaciones, ubicación y clima

El experimento se realizó en una granja porcina, localizada en la Ciudad de Saltillo, Coahuila, México, en las coordenadas 25° 22' 44" N y 100° 00' 00" O, con una altitud de 1,770 m. El clima de la región es BSo Kx' (e'), el cual se caracteriza por ser seco o árido, con un régimen de lluvias entre verano e invierno, precipitación y temperatura media anual de 303.9 mm y 17.7 °C, respectivamente (García, 2004).

Procedimiento experimental

El ensayo se realizó bajo un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con tres tratamientos (0, 3 y 6 % de zeolita en la dieta respectivamente) y tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue la corraleta con 6 animales (3 machos castrados y 3 hembras), formando 9 corraletas (3 bloques x 3 réplicas) con un total de 54 cerdos. Los bloques se formaron para agrupar condiciones iniciales homogéneas (peso vivo (PV) inicial, edad y ubicación física). El experimento se desarrolló en tres etapas de producción: iniciación (11 ± 2 kg de PV), crecimiento (30 ± 2 kg de PV) y finalización (60 ± 2 kg de PV), concluyendo con pesos de 95.0 ± 5.0 kg; con una duración de 116 d más 15 d de adaptación al manejo y a la dieta. Las dietas difirieron en el nivel de proteína cruda por etapa (Tabla 1). Antes de iniciar la investigación, los cerdos fueron desparasitados por vía oral (Panacur® 4 %, fenbendazol, MSD Salud Animal, Ciudad de México) con 3 g por cada 25 kg de PV y se les administraron vitaminas, con 2 mL por animal, por vía intramuscular (Vigantol®, vitaminas A, D y E, Bayer de México S.A de C.V. México). Las heces se recolectaron al final del experimento mediante manipulación directa del recto, en bolsas de plástico herméticas de 500 g (Ziploc®, SC Johnson, Toluca, México).

Caracterización fisicoquímica de las zeolitas

El pH de la zeolita se determinó mediante el método potenciométrico en suspensiones de 10 g de muestra tamizada (< 2 mm) en agua desionizada (1:2.5) y 0.01 M CaCl_2 , con medición del sobrenadante tras centrifugación usando electrodo combinado calibrado a 25 °C. La materia orgánica (MO) se cuantificó mediante el método de Walkley-Black, basado en la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, seguida de la valoración del exceso de dicromato con sulfato ferroso amónico y el cálculo del porcentaje de MO mediante el factor 1.724. El nitrógeno total se determinó por digestión ácida con catalizador, conversión a NH_4^+ y arrastre de NH_3 por vapor hacia un ácido receptor, con posterior valoración ácido-base. Los minerales Ca, K y Mg se analizaron mediante espectrofotometría de emisión de llama tras digestión ácida, usando curvas de calibración, mientras que el fósforo se determinó indirectamente por formación de fosfomolibdato y medición UV-vis (espectroscopia ultravioleta visible). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado, incluyendo blancos para control de exactitud.

Comportamiento productivo

Para evaluar la ganancia diaria de peso (GDP), todos los animales fueron pesados al inicio, a la mitad y al final de cada etapa productiva, el consumo de alimento (CA) se estimó restando lo rechazado de lo ofrecido y la conversión alimenticia (CAL) se obtuvo dividiendo la cantidad de alimento consumido entre la ganancia de peso.

Química sanguínea y fecal

Las muestras de sangre se recolectaron de la vena yugular de dos machos y dos hembras seleccionados aleatoriamente de cada repetición al finalizar cada etapa. La sangre se obtuvo con agujas de 21 G x 38 mm y tubos Vacutainer (Vacutainer®, Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, EUA) y se centrifugó durante 15 min a $750 \times g$ a 4 °C. Los metabolitos (urea, creatinina, glucosa, proteína total y colesterol) se determinaron en suero sanguíneo por espectrofotometría según las instrucciones del kit correspondiente (Biuret modificado, Jaffe sin desproteinización, Berthelot modificado, CHOD-PAP y GOD-POD Glucosa-Oxidasa-Peroxidasa respectivamente) y el N fecal se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por la AOAC (1997).

Análisis proximal de las dietas

El análisis bromatológico de las dietas de las tres etapas de producción se realizó según A.O.A.C. (AOAC, 1997) (Tabla 1).

Análisis estadístico

Las variables GDP, CA, CAL, metabolitos sanguíneos y N fecal se analizaron mediante un modelo lineal mixto con un DBCA y un arreglo factorial 3×3 (tres etapas de producción y tres niveles de zeolita: 0, 3 y 6 %), considerando el bloque como efecto aleatorio; el tratamiento y la etapa como efectos fijos. Las diferencias entre tratamientos se evaluaron mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos se analizaron utilizando el procedimiento MIXED del SAS (SAS, 2010).

RESULTADOS

Caracterización fisicoquímica de la zeolita

El análisis químico de la ZC natural utilizada en este estudio (Tabla 2) indica que este tipo de aluminosilicato es rico en potasio, además contiene otros macro y micronutrientes.

Tabla 1. Ingredientes (%) y composición química de las etapas experimentales (en base a materia seca).

	Iniciación			Etapas Crecimiento			Finalización		
	Zeolita (%)			Zeolita (%)			Zeolita (%)		
Ingredientes	0	3	6	0	3	6	0	3	6
Maíz molido	65	65	65	77	77	77	75	75	75
Pasta de soya	23.5	23.5	23.5	18	18	18	21	21	21
Grasa animal	2.5	2.5	2.5	2	2	2	1	1	1
Premezcla*	9	9	9	3	3	3	3	3	3
Zeolita	-	3	6	-	3	6	-	3	6
Composición química									
Proteína cruda (%)	16.14	15.68	15.37	16.9	16.4	16.0	16.7	16.1	15.7
Humedad (%)	7.86	7.92	7.99	9.2	9.4	9.0	9.9	9.3	8.3
MST	92.1	92.1	92.0	90.8	90.6	91.0	90.1	90.7	91.7
Cenizas	6.1	9.6	8.9	6.2	8.2	9.3	10.0	10.8	10.6
Fibra cruda (%)	2.8	4.8	3.5	3.6	5.9	6.1	2.9	4.6	5.6
Extracto etéreo	3.5	3.4	3.3	3.8	3.4	3.7	5.1	3.5	4.8
E.L.N	71.4	66.5	68.9	69.5	66.0	64.9	65.3	65.0	63.2

*Premezcla= Premezcla de vitaminas y minerales (Vit-AA-Min 100 Forte VP MID; MST= Materia seca total; E.L.N. = Extracto libre de nitrógeno.

Tabla 2. Propiedades químicas de la zeolita clinoptilolita añadida a la dieta de cerdos.

Composición química (ppm kg ⁻¹)									
N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
17.20	1.43	17.36	2.64	385	3.80	0.31	0.64	6.77	0.75
Textura (%)									
Arena			Limo				Arcilla		
52.20			34				13.80		
MO (%)						pH			
0.40						8.75			

ppm: partes por millón; Kg⁻¹: kilogramo; M.O %: de materia orgánica.

Comportamiento productivo

La incorporación de zeolita en la dieta, no afectó las variables de desempeño productivo en ninguna de las tres etapas experimentales ($p \geq 0.05$) (Tabla 3). El CA, la GDP y la CAL fueron similares al grupo control, por lo cual, de acuerdo a los datos obtenidos la zeolita no afecta negativamente el comportamiento productivo de los animales.

En relación a los indicadores sanguíneos; el porcentaje de ZC solo afectó las proteínas totales ($p \leq 0.01$) y la urea ($p \leq 0.01$) (Tabla 4). Se observó un incremento de proteínas totales en la etapa de crecimiento y un decremento de la urea en finalización.

En todas las fases de producción analizadas, la adición de zeolita en la dieta provocó una disminución significativa en la excreción de N. Al incorporar 6 % de ZC en comparación con la dieta sin zeolita, el contenido de N en las heces se redujo aproximadamente en un 20 %.

DISCUSIÓN

La ZC utilizada presentó cantidades altas de N, P, K y Mg, debido al alto contenido de minerales se ha utilizado como suplemento mineral para cerdos (Wang *et al.*, 2021), pollos (Abdelrahman *et al.*, 2023), cabras (El-Nile *et al.*, 2023), corderos (Urias-Estrada *et al.*, 2023) y bovinos (Giurgiu *et al.*, 2024). En cuanto al desempeño productivo de los animales, la inclusión de este mineral no mostró efectos sobre dichas variables en ninguna de las fases de crecimiento evaluadas. Los resultados observados en este estudio (Tabla 3) son similares a los reportados por Prvuloviae *et al* (2009) en cerdos Landrace x Yorkshire, quienes evaluaron dos niveles (0 y 5 %) de ZC, en un programa de alimentación de tres etapas y no observaron diferencias en la GDP ni en la CAL. No obstante, algunos investigadores señalan que la zeolita es un mineral con estructura micro y nanoporosa con capacidad de absorber altas concentraciones de NH₄ y otras sustancias metabólicas de desecho presentes en el tracto digestivo, que pueden ayudar a hacer más eficiente el uso de los nutrientes y promover mejor.

Tabla 3. Comportamiento productivo de los cerdos alimentados con diferentes niveles de inclusión de zeolita en la dieta.

Zeolita (%)				
Etapa/variable	0	3	6	P
Iniciación				
Consumo de alimento (MS kg/día)	1.319±0.5 ^a	1.361±0.5 ^a	1.327±0.5 ^a	0.089
Ganancia diaria de peso (kg/día)	0.542±0.3 ^a	0.558±0.3 ^a	0.495±0.2 ^a	0.847
Conversión alimenticia	2.529±0.3 ^a	2.528±0.3 ^a	2.769±0.4 ^a	0.089
Crecimiento				
Consumo de alimento (MS kg/día)	2.517±0.3 ^a	2.547±0.4 ^a	2.511±0.2 ^a	0.446
Ganancia diaria de peso (kg/día)	0.707±0.3 ^a	0.711±0.3 ^a	0.716±0.4 ^a	0.866
Conversión alimenticia	3.717±0.7 ^a	3.697±0.6 ^a	3.548±0.5 ^a	0.856
Finalización				
Consumo de alimento (MS kg/día)	3.435±0.6 ^a	3.507±0.5 ^a	3.492±0.5 ^a	0.525
Ganancia diaria de peso (kg/día)	0.934±0.3 ^a	0.949±1.3 ^a	0.987±1.4 ^a	0.887
Conversión alimenticia	3.770±0.7 ^a	3.766±0.7 ^a	3.566±0.6 ^a	0.448

^{a,b}= Diferentes literales en la misma fila, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), $\pm$ error estándar, MS= Materia Seca, S.E.D. error estándar de la diferencia.

Tabla 4. Concentración de metabolitos en suero sanguíneo (mg/dL) de cerdos alimentados con dietas con diferentes niveles de adición de zeolita.

Efectos de diferentes niveles de adición de Zeolita				
Etapa/variable	Zeolita (%)			P
	0	3	6	
Iniciación				
Colesterol	122.3±2.6a	114.6±2.5a	102.3±2.4a	0.270
Creatinina	2.1±0.6a	2.2±0.6a	2.3±0.7a	0.163
Glucosa	106.9±2.4a	100.5±2.3a	102.1±2.4a	0.843
Proteínas totales	6.4±0.8a	6.7±0.9a	6.5±0.8a	0.135
Urea	32.7±1.6a	28.7±1.5a	31.7±1.6a	0.188
Crecimiento				
Colesterol	93.0±2.4a	124.6±2.6a	119.0±2.5a	0.107
Creatinina	2.3±0.7a	2.3±0.7a	2.2±0.6a	0.083
Glucosa	97.2±2.2a	94.1±2.1a	96.6±2.3a	0.898
Proteínas totales	6.4±0.8b	7.3±0.9a	6.8±0.9ab	0.0003*
Urea	36.1±1.7q	34.7±1.6a	36.3±1.7a	0.786
Finalización				
Colesterol	162.7±2.8a	169.0±2.9a	178.5±3.0a	0.628
Creatinina	2.2±0.6a	2.3±0.7a	2.2±0.6a	0.426
Glucosa	115.3±2.5a	113.7±2.5a	115.1±2.5a	0.864
Proteínas totales	7.5±1.0a	7.1±0.9a	7.2±0.9a	0.975
Urea	36.3±1.7a	30.9±1.6ab	28.2±1.5b	0.016*

^{a,b}= Diferentes literales en la misma fila, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), $\pm$ error estándar, S.E.D. error estándar de la diferencia.

Tabla 5. Concentración fecal de nitrógeno (%) de cerdos alimentados con diferentes niveles de zeolita natural en tres etapas de desarrollo.

Etapa	Zeolita (%)			P
	0	3	6	
Iniciación	1.53±0.6a	1.32±0.5b	1.25±0.4b	0.0001*
Desarrollo	1.49±0.5a	1.31±0.5ab	1.21±0.4b	0.005*
Finalización	1.39±0.5a	1.22±0.4b	1.07±0.3c	0.0001*

^{a,b}= Diferentes literales en la misma fila, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), $\pm$ error estándar, *= diferencia significativa, S.E.D. error estándar de la diferencia.

incremento de peso (Wijesinghe *et al.*, 2018), sin embargo, no hay información concluyente, Raj *et al.* (2021) señalan que no promueven ningún efecto en el comportamiento productivo.

En otra investigación, Defang y Nikishov (2009) indican que los efectos asociados al uso de zeolita se relacionan con su participación en procesos de adsorción y eliminación de compuestos, sin embargo, el tipo de zeolita, la especie animal evaluada, las condiciones climáticas, dosis usadas y tamaño de partícula del mineral son factores que pueden estar relacionados a los efectos encontrados (Su *et al.*, 2025). La CA en cada uno de los niveles de ZC en este estudio no fue significativo ($p \geq 0.05$) (Tabla 3), lo que podría deberse a varios factores. Trckova *et al.* (2009) señalaron que la adición de ZC en lechones, aumentó la materia mineral en la dieta y redujo el coeficiente de digestibilidad de la materia seca, proteína y la energía, lo que provoca que los cerdos no compensen la ingesta, por lo tanto, la eficiencia de conversión y el crecimiento se reducen.

En relación a la química sanguínea, en este estudio se presentó alteración de proteína y urea, algunos autores señalan que el efecto de la zeolita sobre la concentración de metabolitos en suero sanguíneo puede deberse a una interacción indirecta con sistemas bioquímicos, la eliminación de toxinas del intestino, la mejora del sistema inmune relacionado con la mucosa intestinal y un aumento en la biodisponibilidad de minerales que son cofactores importantes para algunas enzimas (Beltcheva *et al.*, 2024). Resultados similares a los observados en este estudio fueron publicados por Alexopoulos *et al.* (2007) trabajando con cerdos de 25 a 161 días de edad y 2 % de zeolita incorporada a la dieta. Estos autores encontraron que, durante las etapas de crecimiento y finalización, las concentraciones de urea y colesterol en sangre disminuyeron, pero hubo una alta concentración de glucosa, por lo cual, plantearon que la reducción en la concentración de urea y creatinina en sangre se debe a que la zeolita tiene una alta afinidad por los iones amonio, es decir, tiene una alta capacidad para capturar iones amonio producidos en la deaminación de proteínas durante el proceso digestivo. Esto es relevante porque ayuda a prevenir su absorción y aumenta la actividad enzimática y microbiana, resultando en un mejor aprovechamiento de los nutrientes, especialmente del N. Otros autores indican que existe una mejora significativa en la retención de N en animales alimentados con zeolita (Schneider *et al.*, 2017).

El aumento de las proteínas totales en sangre y la disminución de la urea tanto sanguínea como fecal observadas en este estudio podrían estar asociadas con un mayor desarrollo del intestino, resultado de la mejora en la digestibilidad del alimento dentro del tracto gastrointestinal inducida por la zeolita (Feneşan

et al., 2022). Esto se debe a que dicho mineral posee la capacidad de adsorber el exceso de amoníaco producido durante la digestión y la fermentación intestinal, lo que contribuye al mantenimiento de la integridad intestinal y, por ende, a una absorción y utilización más eficiente de los nutrientes (Vieira *et al.*, 2023). Por otra parte, Abdel-Kader *et al.* (2025) observaron que este aumento podría atribuirse al potencial de la zeolita para mejorar la función hepática, lo que conlleva a un incremento en los niveles de proteína total (AL-Musawy *et al.*, 2023). Por otro lado, el aumento de las proteínas totales en la sangre puede atribuirse a un aumento en el nivel de globulinas (inmunoglobulinas y varias proteínas de transporte) (NseAbasi *et al.*, 2014).

En animales domésticos, se ha reportado la prevalencia de dos mecanismos muy importantes, sobre los cuales la zeolita podría estar relacionada con el mejor aprovechamiento del N en la dieta y su reducción en heces, el primero es la absorción de NH_3 y el segundo mecanismo es la prolongación del tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo (Ghasemi *et al.*, 2018). El NH_3 es un agente tóxico a nivel celular y una vez absorbido debe ser transformado en urea por el hígado, para su posterior eliminación renal a través de mecanismos intensivos en energía. En no rumiantes (cerdos y pollos), la propiedad absorbente de NH_3 de la zeolita demuestra el efecto beneficioso que puede tener durante el proceso digestivo, al prevenir su posible absorción intestinal, reduciendo así la carga hepática con sustancias tóxicas, que se traduce en la energía necesaria que podría ser utilizada para aumentar el rendimiento productivo expresado en ganancia de peso (Trckova *et al.*, 2009).

La reducción del N en las heces presentó una reducción significativa en animales que consumieron el mineral, Prvuloviae *et al.* (2009) sugirieron que la zeolita puede ayudar a la mejor digestibilidad del aspartato y alanina en el tracto digestivo, o en algunos procesos metabólicos que requieren la transformación de alanina en aspartato y así hacer más eficiente el uso del N. Las propiedades de intercambio iónico de la zeolita alteran el pH y la composición iónica (incluyendo oligoelementos) de los fluidos gastrointestinales, aumentando así la actividad enzimática, lo que contribuye a mejorar la digestión y absorción de nutrientes como el N y evitar así su excreción (Collazos, 2010), como se muestra en la Tabla 5. Por otra parte, la reducción del nitrógeno fecal puede estar relacionados con la estimulación del sistema digestivo y la mejora de la digestibilidad de los nutrientes cuando la ZC se añade a la dieta (Elsherbeni *et al.*, 2024).

La excreción de N fecal puede estar relacionada con el metabolismo de la urea, Alexopoulos *et al.* (2007) indican que la disminución en las concentraciones de urea en sangre podría estar relacionada con la elevada

afinidad de la zeolita por los iones amonio. En otras palabras, este mineral posee una notable capacidad para adsorber los iones amonio generados durante la deaminación proteica en la digestión, lo que estimula la actividad enzimática y microbiana y, en consecuencia, mejora el aprovechamiento de los nutrientes, en particular del N. Además, la capacidad adsorbente de las zeolitas permite reducir la concentración de amoníaco en el intestino y liberarlo gradualmente a lo largo del proceso digestivo. Esta acción de retener amoníaco y disminuir su liberación al ambiente constituye una de las propiedades más destacadas del mineral (Dinuccio *et al.*, 2022). De igual manera, la zeolita mejora la eficiencia en la absorción de compuestos nitrogenados en el tracto digestivo, reduciendo así su excreción en las heces (Chmielowiec-Korzeniowska *et al.*, 2022). Dinuccio *et al.* (2022) reportan que este mineral puede disminuir las pérdidas fecales de nitrógeno y fósforo hacia el medio ambiente debido a su capacidad de intercambio catiónico y a la reducción de la velocidad del tránsito intestinal, lo que favorece una mejor conversión alimenticia (Nadziakiewicz *et al.*, 2022).

CONCLUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos, la inclusión de ZC al 3 y 6 % no afectó el rendimiento productivo de los animales en ninguna de las tres etapas evaluadas. No obstante, su adición incrementó la concentración sanguínea de proteínas totales durante la etapa de crecimiento y disminuyó los niveles de urea en la fase de finalización. Asimismo, la suplementación redujo de manera significativa el contenido de N fecal en todas las etapas productivas, observándose que al incorporar 6 % de ZC en comparación con la dieta sin zeolita, el contenido de N en las heces se redujo aproximadamente en un 20 %, sin comprometer el crecimiento de los animales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al profesor, Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar, por su gestión en los análisis de laboratorio.

Funding statement. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Conflict of interest statement. The authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical compliance. All procedures for animal handling and the collection of blood and fecal samples were approved by the Ethics and Animal Welfare Committee of the Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, Universidad Autónoma de Chiapas, and were conducted in accordance with the current guidelines of the Mexican Official Standard NOM-

062-ZOO-1999 for the technical specifications for the production, care, and use of laboratory animals (SAGARPA, 2001).

Data availability. The data are available from: Bulmaro Méndez-Argüello, bulmaro.mendez@unach.mx

Author contributions (CRediT). **B. Méndez-Argüello** – Writing-review & editing, Investigation, Methodology, Project administration. **S.D. Carreño-Ruiz** – Project administration, Validation. **R. Monroy-Hernández** – Resources, Funding acquisition, Project administration. **I. Martínez-Cruz** – Writing-review, Supervision. **J.C. Torres-Ramírez** – Writing-review, Supervision. **F. Rosales-Martínez** – Writing-review & editing, Investigation, Methodology, Project administration.

REFERENCES

- Abdel-Kader, I.A., Elnesr, S.S., Mahmoud, B.Y., El-Full, E.A. and Emam, A.M., 2025. Gut health and physiological aspects of broiler chicken fed zeolite as a dietary supplement: its effect on growth, cecal microbiota and digesta viscosity, digestive enzymes, carcass traits, blood constituents and antioxidant parameters. *BMC Veterinary Research*, 21(1), p. 535. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12917-025-05006-1>
- Abdelrahman, M.M., Al-Baadani, H.H., Qaid, M.M., Al-Garadi, M.A., Suliman, G.M., Alobre, M.M. and Al-Mufarrej, S.I., 2023. Using natural zeolite as a feed additive in broilers' diets for enhancing growth performance, carcass characteristics and meat quality traits. *Life*, 13, p. 1548. Available at: <https://doi.org/10.3390/life13071548>
- Abd Elshafy, M.B., Abd EL-Monem, A.I.M., Khattab, I.M., Fadl, S.E. and Abou Khadiga, G., 2023. Nutritional impact of nano zeolite, probiotic, and fatty acids as feed additives on health status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Scientific Reports*, 13(1), pp. 1-9. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50034-2>
- Alexopoulos, C., Papaioannou, D.S., Fortomaris, P., Kyriakis, C.S., Goussi, T., Yannakopoulos, A. and Kyriakis, S.C., 2007. Experimental study on the effect of the administration of a Clinoptilolite rich tuff on certain biochemical and haematological parameters of growing and fattening pigs. *Livestock Science*, 111, pp. 230-241. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.152>

- AL-musawy, S.A.A.A., Mohammed, M.F., Thamer, M.K. and AL-musawy, A.A.A., 2023. Effect of adding Zeolite powder in broiler diet on performance, some physiological and biochemical traits. *Acta Biomedica*, 94(2), e2023090. Available at: <https://doi.org/10.23750/abm.v94i2.15488>
- A.O.A.C., 1997. Official Methods of Analysis. 16th ed. Arlington: AOAC International.
- Beltcheva, M., Tzvetanova, Y., Todorova, T., Tsvetanova, L., Aleksieva, I., Gerasimova, T. and Chassovnikarova, T., 2024. Does Natural Clinoptilolite Induce Toxicity in Small Mammals? *Acta Zoologica Bulgarica*, 76(2), pp. 289-297. Available at: <https://www.acta-zoologica-bulgarica.eu/2024/002776>
- Buchinski, M.J., Wellington, M.O., Camiré, C.M., Panisson, J.C., Shoveller, A.K. and Columbus, D.A., 2024. Effect of dietary nitrogen content and ammonium phosphate inclusion on lysine requirement for nitrogen retention in growing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 104(2), pp. 241–250. Available at: <https://doi.org/10.1139/cjas-2023-0111>
- Collazos, G.H., 2010. The application of zeolite in poultry production: Review. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1, pp. 17–23. Available at: <https://doi.org/10.22490/21456453.904>
- Chmielowiec-Korzeniowska, A., Tymczyna, L., Wlazło, Ł., Trawińska, B. and Ossowski, M., 2022. Emissions of gaseous pollutants from pig farms and methods for their reduction—a review. *Annals of Animal Science*, 22(1), pp. 89-107. Available at: <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0015>
- Defang, H.F. and Nikishov, A.A., 2009. Effect of dietary inclusion of zeolite on performance and carcass quality of grower-finisher pigs. *Livestock Research for Rural Development*, 47, pp. 43-49. Available at: <http://www.lrrd.org/lrrd21/6/defa21090.htm> [Accessed 10 Dec. 2024].
- Dinuccio, E., Maffia, J., Lazzaroni, C., Airoidi, G., Balsari, P. and 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). Available at: <https://doi.org/10.4081/jae.2022.1290>
- Đuričić, D., Vince, S., Maćešić, N., Gračner, D., Kovačić, M., Folnožić, I. and Samardžija, M., 2023. Effects of in-feed zeolite treatment on some biomarkers in dairy cows with subclinical mastitis. *Academia Biology*, 1(1), pp. 1-6. Available at: <https://doi.org/10.20935/AcadBiol6033>
- El-Nile, E.A., Elazab, A.M., Soltan, A.Y., Elkomy, E.A., El-Zaiat, M.H., Sallam, M.A.S. and El-Din, E.K., 2023. Nano and natural zeolite feed supplements for dairy goats: feed intake, ruminal fermentation, blood metabolites, and milk yield and fatty acids profile. *Animal Feed Science and Technology*, 295, p. 115522. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115522>
- Elsherbeni, A.I., Youssef, I.M., Hamouda, R.E., Kamal, M., El-Gendi, G.M., El-Garhi, O.H., Alfassam, H.E., Rudayni, H.A., Allam, A.A., Moustafa, M., Alshaharn, M.O. and El Kholy, M.S., 2024. Performance and economic efficiency of laying hens in response to adding zeolite to feed and litter. *Poultry Science*, 103(7), p. 103799. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103799>
- Feneşan, D.M.E., Tamas-Krumpe, O.M., Todoran, D., Necula, D. and Ognean, L., 2022. Current aspects regarding the use of zeolites in the prophylactic-therapeutic management of gastrointestinal disorders in poultry, swine, ruminants and dogs. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, 65(2). <https://animalsciencejournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/24-articles-2022-issue-2/1111-current-aspects-regarding-the-use-of-zeolites-in-the-prophylactic-therapeutic-management-of-gastrointestinal-disorders-in-poultry-swine-ruminants-and-dogs-review#spucontentCitation11> [Accessed Nov. 6. 2025]
- García, E., 2004. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. 5th ed. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. Available at: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1> [Accessed Jan. 15 2025].
- Ghasemi, Z., Sourinejad, I., Kazemian, H. and Rohani, S., 2018. Application of zeolites in

- aquaculture industry: a review. *Review in Aquaculture*, 10, pp.75–95. Available at: <https://doi.org/10.1111/raq.12148>
- Giurgiu, O.V., Berean, D.I., Ionescu, A., Ciupe, M.S., Cimpean, C.R., Radu, C.I., Bitica, D.G., Bogdan, S. and Bogdan, M.L., 2024. The effect of oral administration of zeolite on the energy metabolism and reproductive health of Romanian spotted breed in advanced gestation and postpartum period. *Veterinary and Animal Science*, 23, p.100333. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100333>
- Hcini, E., Ben, S.A., Kallel, I., Zormati, S., Traore A.I. and Gdoura, R., 2018. Does supplemental zeolite (clinoptilolite) affect growth performance, meat texture, oxidative stress and production of polyunsaturated fatty acid of turkey poults? *Lipids in Health and Disease*, 17, p. 177. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0820-7>
- Kordala, N. and Wyszowski, M. 2024. Zeolite Properties, Methods of Synthesis, and Selected Applications. *Molecules*, 29(5), pp.1069. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules29051069>
- Mostafa, T.M. and Yousif, A.A., 2025. Potential Using Zeolite, Yeast and Milk Thistle in Reducing Harmful Effect of Mycotoxins in Broiler Diets. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* 1449(1), 012006. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1449/1/012006>
- Nadziakiewicz, M., Lis, M.W. and Micek, P. 2022. The effect of dietary halloysite supplementation on the performance and meat quality of pigs and some air indices in piggery. *Scientific Reports*, 12(1), 20533. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24987-9>
- NseAbasi N. Etim, Edem E.A. Offiong, Mary E.W. and Lawrence E.A. 2014. Influence of Nutrition on Blood Parameters of Pigs. *American Journal of Biology and Life Sciences*, 2(2): pp. 46-52. Available at: <http://www.openscienceonline.com/journal/ajbls>.
- Prvuloviae, D., Kosareiae, S., Popoviae, M. and Gordana, G.L., 2009. Effect of dietary hydrated aluminosilicates on growth and blood indicators of pigs. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 43, pp. 59-63. Available at:
- <https://ejasciencie.com/index.php/CJAS/issue/view/28> [Accessed 20 Mar. 2025].
- Raj, J., Vasiljević, M., Tassis, P., Farkaš, H., Bošnjak-Neumüller, J. y Männer, K., 2021. Efectos de una zeolita clinoptilolita modificada sobre el rendimiento del crecimiento, el estado de salud y la desintoxicación de aflatoxina B1 y ocratoxina A en pollos de engorde machos. *British Avicultura*, 62 (4), pp. 601-610. Available at: <https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1891522>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca, y Alimentación (Sagarpa), 2001. Norma Oficial Mexicana, Especificaciones Técnicas para la Producción, Cuidado y uso de los Animales de Laboratorio. Available at: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf [Accessed 05 Jan. 2025].
- Saed, Z.J., Hamad, O.K., Mohammed, A. and Al-Jumaily, T.K., 2024. Effect of natural zeolite (nz) of growth performance, immunity parameters and gut histology in broiler chicken. *Tikrit Journal for Agricultural Science*, 24(2), pp. 93-101. Available at: <https://doi.org/10.25130/tjas.24.2.8>
- SAS, 2010. Statistical Analysis System. User's Guide: Statistics. Version 9.4 for Windows. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sharma, H., Pal, R.P., Mir, S.H., Mani, V. and Ojha, L., 2018. Effect of feeding buffer on feed intake, milk production and rumen fermentation pattern in lactating animals: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6, pp. 916-922. Available at: <https://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue4/PartP/6-4-35-521.pdf> [Accessed 12 Dec. 2024].
- Schneider, A.F., Zimmermann, O.F. and Gewehr, C.E., 2017. Zeolites in poultry and swine production. *Ciencia Rural*, 47, pp.1–8. Available at: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160344>
- Su, X., Huang, P., Guo, Y. and Cao, J., 2025. Zeolite for preventing periparturient hypocalcemia in dairy cows: mechanisms and application strategies. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, p. 1635245. Available at: <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1635245>

- Trckova, M., Vondruskova, H., Zraly, Z., Alexa, P., Hamrik, J., Kummer, V., Maskova, J., Mrlik, V., Krizova, K., Slana, I., Leva, L. and Pavlik, I., 2009. The effect of kaolin feeding on efficiency, health status and course of diarrhoeal infections caused by enterotoxigenic *Escherichia coli* strains in weaned piglets. *Veterinarni Medicina*, 54, pp.47-63. Available at: <https://doi.org/10.17221/5/2009-VETMED>
- Urias-Estrada, J., López-Soto, M.A., Barreras, A., Aguilar-Hernández, J.A., González-Vizcarra, V.M., Estrada-Angulo, A., Zinn, R.A., Mendoza, G.D. and Plascencia, A., 2018. Influence of zeolite (clinoptilolite) supplementation on characteristics of digestion and ruminal fermentation of steers fed a steam-flaked corn-based finishing diet. *Animal Production Science*, 58(7), pp. 1239-1245. Available at: <https://doi.org/10.1071/AN16128>
- Urias-Estrada, J.D., Estrada-Angulo, A., Castro-Pérez, B.I., Ponce-Barraza, E., Arteaga-Wences, Y.J., Ramos-Méndez, J.L., Barreras, A., Valdes-García, Y.S. and Plascencia, A., 2023. Impact of presence of zeolite in diets for lambs supplemented with zilpaterol hydrochloride: growth performance and dietary energetics. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(6), pp. 768-776. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392023000600786>
- Van Grinsven, H.J.M., Van Dam, J.D., Lesschen, J.P., Timmers, M.H.G., Velthof, J.L. and Lassaletta, L., 2018. Reducing external costs of nitrogen pollution by relocation of pig production between regions in the European Union. *Regional Environmental Change*, 18, pp. 2403-2415. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1335-5>
- Vieira, R.B., Ludke, M.C.M.M., Ludke, J.V., Lopes, C.C., Oliveira, E.F., Santos, A.C.A. and Rabello, C.B.V. 2023. Effect of dietary zeolite supplementation on production, egg quality, ammonia volatilization, organ morphometry and blood parameters in brown laying hens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 25(04), eRBCA-2023. Available at: <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2023-1797>
- Wang, J., Liu, Q., Hou, Y., Quin, W., Lesschen, J.P., Zhan, F. and Oenema, O., 2018. International trade of animal feed: its relationships with livestock density and N and P balances at country level. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 18, pp. 197-211. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10705-017>
- Wang, H., Yin, J. and Kim, I.H., 2021. Experimental study on the effect of zeolite (clinoptilolite) on the grow performance, nutrient digestibility and faecal microbiota of finishing pigs. *Journal of Applied Animal Research*, 49(1), pp. 154-157. Available at: <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1914063>
- Wijesinghe, D.T., Dassanayake, K.B., Scales, P.J., Sommer, S.G. and Chen, D., 2018. Effect of Australian zeolite on methane production and ammonium removal during anaerobic digestion of swine manure. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, pp. 1233-1241. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.028>
- Zhang, F. and Adeola, O., 2017. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Animal Nutrition*, 3, pp. 344-352. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.06.008>