



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

CONSECUENCIA DEL USO DE ZEOLITA EN DIETA DE CERDOS SOBRE EL MEDIO
AMBIENTE

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA:

OSCAR IVAN GARCÍA VALENCIA

DIRECTOR

DR. NUMA POMPILIO CASTRO GONZÁLEZ

CODIRECTOR

DR. EUTIQUIO SONI GUILLERMO

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Julio 2023



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

CONSECUENCIA DEL USO DE ZEOLITA EN DIETA DE CERDOS SOBRE EL MEDIO
AMBIENTE

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA:

OSCAR IVAN GARCÍA VALENCIA

DIRECTOR DE TESIS

DR. NUMA POMPILO CASTRO GONZÁLEZ

CODIRECTOR

DR. EUTQUIO SONI GUILLERMO

ASESORES:

DR. MARCOS PÉREZ SATO

DR. EDGAR VALENCIA FRANCO

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Julio 2023

La presente tesis titulada: **CONSECUENCIA DEL USO DE ZEOLITA EN DIETA DE CERDOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE** y realizada por **OSCAR IVAN GARCIA VALENCIA**, ha sido revisada y aprobada por el consejo particular siguiente, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo particular integrado por:

Firma

Director: Dr. Numa Pompilio Castro González

Codirector: Dr. Eutiquio Soni Guillermo

Asesor: Dr. Marcos Pérez Sato

Asesor: Dr. Edgar Valencia Franco



The image shows four handwritten signatures in blue ink, each written over a horizontal line. The signatures are arranged vertically from top to bottom, corresponding to the names listed on the left. The top signature is the most prominent and appears to be the director's. The second signature is smaller and less distinct. The third signature is also smaller and less distinct. The bottom signature is the most prominent and appears to be the advisor's.

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Julio 2023

El presente trabajo forma parte del cuerpo académico: BUAP-CA-182 **Producción pecuaria** y de la **línea de investigación: Producción integral de rumiantes y no rumiantes**. Dicho trabajo fue financiado por recursos propios.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por permitirme terminar mi carrera siendo un paso muy importante en mi vida, por darme la fuerza y satisfacción de levantarme cada día con vida y salud para seguir logrando hacer las cosas que me apasionan en compañía de todos mis seres queridos.

A MIS ABUELOS

Luz María Luna Lobato y Bardomiano Garcia Lobato, que son las personas que me criaron desde muy pequeño con su amor incondicional, por brindarme su atención, paciencia, consejos, que a pesar de momentos malos ellos siempre me enseñan a salir adelante a pesar de todo (uno de ellos me enseñó a vivir la vida sin estar preparado y el otro me preparo para vivir la vida), gracias por todo el apoyo de ustedes los amo.

A MI PADRE

Oscar Garcia Luna por darme la vida, por su gran esfuerzo que realiza día con día para salir adelante para apoyar a su familia y por su apoyo incondicional, por ser un motor en mi vida para prepararme y salir adelante, por el gran amor que le tiene a su familia, por eso y mucho más es un ejemplo a seguir.

A MIS HERMANAS

Yureli, Natali y luzitali por apoyarme dándome consejos, escuchándome y guiándome por un buen camino, por atenderme cuando era muy pequeño, aunque regañonas y gritonas, pero gracias por ser las mejores hermanas del mundo, gracias por darme ese cariño.

A MIS TIOS

Lorena, Rene, Salvador y Gabino por su apoyo económico y mental, por sus consejos, por su forma de guiarme en un buen camino y por ser participantes en esta etapa de mi vida, gracias por su ayuda para concluir mis estudios.

A MI MEJOR AMIGA

Rebeca Fernández Arreguin por que durante todo el trayecto de mis estudios y desde mucho antes siempre ha estado conmigo, me motiva para dar lo mejor de mí, por escucharme siempre, por hacerme reír en momentos difíciles, su confianza, cariño, lealtad, su amor y por siempre estar ahí, gracias por todo el apoyo brindado. “Gracias por ser el sol que ilumina mi vida”.

AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en especial a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias programa educativo Ingeniería Agronómica y Zootecnia por los estudios brindados para mi formación profesional.

Al Dr. Numa Pompilio Castro Gonzales por ser mi director de tesis, por su confianza, enseñanzas y por compartirme su conocimiento y experiencia.

Al personal docente Dr. Sony Eutiquio, Dr. Sato Pérez, Dr. Edgar Valencia, Dra. Delia Moreno, Dr. Armando Ibáñez, Mc. Ramiro Escobar, por impartirme clases brindando su conocimiento, atención y experiencia durante mis estudios.

A las granjas lomas y el volantín por permitir realizar mi servicio social y prácticas profesionales, por la experiencia única y por la practica aprendida.

A los médicos Itzel Villegas, Yareli Hernández, Marilú y Antonio por brindarme su conocimiento y enseñanza durante mi proceso de servicio y prácticas.

ÍNDICE GENERAL

| Contenido | Página |
|--|--------|
| ÍNDICE DE CUADROS | i |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ii |
| RESUMEN | iii |
| ABSTRACT | iv |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Objetivo general..... | 3 |
| 2.2 Objetivos específicos | 3 |
| III. HIPÓTESIS | 4 |
| IV. REVISIÓN DE LITERATURA | 5 |
| 4.1 Producción de cerdo en México..... | 5 |
| 4.1.1 El consumo de carne de cerdo en México..... | 5 |
| 4.2 Sistemas de producción | 5 |
| 4.2.1 Sistema tradicional o de traspatio..... | 6 |
| 4.2.2 Sistema semi tecnificado | 7 |
| 4.2.3 Sistema tecnificado | 7 |
| 4.3 Alimentación de cerdos | 7 |
| 4.3.1 Alimentación de lechones (Inicio-crecimiento) | 7 |
| 4.3.2 Alimentación de cerdos (desarrollo–engorda) | 8 |
| 4.4 Emisiones de amoniaco..... | 8 |
| 4.4.1 Ciclo del nitrógeno | 9 |
| 4.5 Consecuencias de las emisiones de amoniaco | 11 |
| 4.5.1 Salud publica..... | 11 |
| 4.5.3 Mantos acuíferos | 12 |
| 4.6 Emisiones de amoniaco en granjas de cerdos | 12 |
| 4.7 Como se generan estos gases en la producción porcina | 13 |
| 4.7.1 Amoniaco | 13 |
| 4.7.2 Metano..... | 13 |
| 4.7.3 Óxido nitroso..... | 13 |
| 4.7.3.1 Nitrificación | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 4.7.3.2 Desnitrificación | 14 |
| 4.7.4 Dióxido de carbono | 14 |
| 4.8 Historia de la zeolita | 14 |
| 4.8.1 Estructura | 15 |
| 4.8.2 Propiedades de la zeolita | 16 |
| 4.8.2.1 Porosidad: | 16 |
| 4.8.2.2 Absorción: | 16 |
| 4.8.2.3 Intercambio iónico..... | 16 |
| 4.9 Zeolita en nutrición animal | 16 |
| 4.9.1 Reducción de la excreción de nitrógeno y digestibilidad de los nutrientes | 16 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS | 18 |
| 5.1 Características de la localización | 18 |
| 5.2 Instalaciones y equipo..... | 18 |
| 5.3 Unidad experimental..... | 18 |
| 5.4 Diseño experimental | 19 |
| 5.5 Material experimental | 19 |
| 5.6 Alimento | 19 |
| 5.8 Variables evaluadas | 24 |
| 5.8.1 Amoniaco en el ambiente y temperatura..... | 24 |
| 5.9.2 Determinación de proteína - nitrógeno en heces..... | 24 |
| 5.8.3 pH en heces | 26 |
| 5.9 Análisis estadístico | 26 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 28 |
| VII. CONCLUSIÓN..... | 32 |
| VIII. LITERATURA CITADA | 33 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Contenido | página |
|---|--------|
| Cuadro 1. Distribución del diseño experimental y tratamientos | 19 |
| Cuadro 2. Pureza de la zeolita..... | 19 |
| Cuadro 3. Dieta de cerdos con inclusión de zeolita para la etapa inicio 10-25 kg..... | 20 |
| Cuadro 4. Nutrientes proporcionados en la dieta de cerdos en etapa inicio | 20 |
| Cuadro 5. Dieta de cerdos con inclusión de zeolita para la etapa crecimiento 25-50 kg. | 21 |
| Cuadro 6. Nutrientes proporcionados en la dieta de cerdos en etapa crecimiento..... | 21 |
| Cuadro 7. Dieta de cerdos con inclusión de zeolita para la etapa desarrollo 50-75 kg..... | 22 |
| Cuadro 8. Nutrientes proporcionados en la dieta de cerdos en desarrollo. | 22 |
| Cuadro 9. Dieta de cerdos con inclusión de zeolita al para la etapa finalización 75-100 kg..... | 23 |
| Cuadro 10. Nutrientes proporcionados en la dieta de cerdos en finalización | 23 |
| Cuadro 11. Variables ambientales de la etapa inicio en cerdos alimentados con zeolita. | 28 |
| Cuadro 12. Variables ambientales de la etapa crecimiento en cerdos alimentados con zeolita. | 29 |
| Cuadro 12. Variables ambientales de la etapa desarrollo en cerdos alimentados con zeolita. | 30 |
| Cuadro 13. Variables ambientales de la etapa finalización en cerdos alimentados con zeolita. | 31 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Contenido | página |
|---|---------------|
| Figura 1. Porcentaje de los tipos de producción porcina en México..... | 6 |
| Figura 2. Ciclo del nitrógeno fases y niveles tróficos. | 10 |
| Figura 3. Emisiones de gases ¹² producidos por el sector pecuario en México. | 12 |
| Figura 4. Forma física de la zeolita | 15 |
| Figura 5. Estructura micro porosa de la zeolita. | 15 |
| Figura 6. Ubicación geográfica del Mirador Ixtacamaxtitlan | 18 |

RESUMEN

El NH_3 (amoníaco) proveniente del estiércol, orina y eructo de los cerdos, en altas concentraciones generan riesgos a la salud pública y a los animales. Por lo cual el objetivo de este trabajo fue evaluar la inclusión creciente de zeolita (clinoptilolita) al 0 %, 1.5 %, 3 %, 4.5 % en dietas de cerdos en las etapas de inicio, crecimiento, desarrollo y finalización, para reducir los niveles de amoníaco en el medio ambiente y una mayor retención de nitrógeno en heces. Dicha investigación se realizó en el Mirador Ixtacamaxtitlan Puebla. Se empleo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron NH_3 y temperatura ambiental, nitrógeno y pH en heces. Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los tratamientos T2, T3, T4 con inclusión de 1.5, 3 y 4.5 % de zeolita en la dieta la cual mostro una mayor retención de nitrógeno en heces y una menor emisión de NH_3 ambiental, por el contrario, las variables temperatura y pH en heces no se mostró diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Por tanto, se puede concluir que la zeolita (clinoptilolita) mejora la retención de nitrógeno en heces lo cual provoca que las emisiones de NH_3 ambiental sean menores.

Palabras clave: Clinoptilolita, NH_3 , retención, pH, temperatura.

ABSTRACT

NH₃ (ammonia) from manure, urine and burping of pigs, which in high concentrations generate risks to public health and in the animals themselves. Therefore, this study was to evaluate the increasing inclusion of zeolite (clinoptilolite) at 0%, 1.5%, 3%, 4.5% in the diets of pigs in the stages of beginning, growth, development and completion. With the aim of reducing the levels of ammonia in the environment and greater nitrogen retention in feces. This investigation was carried out at the Mirador Ixtacamaxtitlan Puebla. A completely random design was used with four treatments and four repetitions per treatment. The variables evaluated were NH₃ and ambient temperature, nitrogen and pH in feces. The results obtained in this research showed a significant difference ($P \leq 0.05$) in the T2, T3, T4 treatments with the inclusion of 1.5, 3 and 4.5% zeolite in the diet which showed a higher nitrogen retention in feces and a lower emission of environmental NH₃, on the contrary, the temperature and pH variables in feces showed no significant difference ($P \leq 0.05$). Therefore, it can be concluded that zeolite (clinoptilolite) improves nitrogen retention in feces, which causes environmental NH₃ emissions to be lower.

Key words: Clinoptylolite, NH₃, retention, pH, temperature

I. INTRODUCCIÓN

La problemática de la emisión de gases es establecida en la naturaleza por su contraste con otros efectos notables para el trabajador, la ganadería genera gases con diversos efectos en el bienestar de animales, trabajadores y el medio que los rodea. La generación de purines es una fuente de emisión de gases y al dispersarse en el aire, dificulta entender la magnitud de la manifestación de gases en una granja y las implicaciones en el ambiente (Calvet *et al.*, 2020).

El NH_3 (amoníaco) proveniente de deyecciones ganaderas asume un defecto, el cual contribuye a la creación de gases de efecto invernadero y se establece en base a la digestión anaerobia. MAPAMA (2017) Comenta que cantidad de NH_3 generado de excreciones depende de factores como: materia orgánica, composición de las deyecciones, almacenamiento y fermentación.

La producción de NH_3 se debe al nivel de proteína y energía que no es aprovechada por el animal y al ser excretada por las heces y orina, provocan reacciones de degradación y fermentación por microorganismos estimulando la acción de mineralizar el nitrógeno orgánico a anión amonio (NH_4) mediante factores como la composición de la materia orgánica, la humedad y la temperatura. Las altas concentraciones de amoníaco descendientes de las heces y orina de los cerdos producen pérdidas en la producción y trastornos de salud como; conjuntivitis ataques y convulsiones, desorientación, trastornos respiratorios y complicaciones en patas (Coma y Bonet, 2004).

Por lo que una de las problemáticas que se tiene en las granjas porcinas es el olor producido por las emisiones de gases (amoníaco, sulfuro de hidrogeno, metano y bióxido de carbono). Estos gases presentan un riesgo a la salud pública afectando las vías respiratorias, causando disfunciones pulmonares (Capistrán *et al.*, 2000).

Debido a estos problemas debe ser necesario crear estrategias en la alimentación del cerdo, para reducir la emisión de amoníaco. Una alternativa podría ser el uso de zeolitas naturales, ya que estas mejoran la absorción de los nutrientes en los animales y reducen las emisiones de amoníaco, mejorando el rendimiento productivo de los cerdos (Fokas *et al.*, 2004).

La estructura de las zeolitas naturales se debe a la red cristalina tridimensional que se compone de tetraedros de tipo TO_4 (T= Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co), con la capacidad de intercambiar por

mineralización sus iones móviles con el NH_3 y reducir los niveles de este en el aire debido al Al (Aluminio) presente en la red zeolítica y composición química (GEOXNET, 2014).

Su estructura micro porosa de dimensiones moleculares (3 a 13 nanómetros), hace que la zeolita posea el potencial de absorber moléculas debido a la cercanía de las capas de electrones de los átomos de la superficie de la zeolita con los átomos de la molécula libre. Garcia y Pérez (2003) menciona que cuando el tamaño del poro reduce se incrementa el potencial de absorción y mejora el confinamiento de la molécula absorbida.

El uso de la zeolita en alimentación de ganado toma importancia debido a su eficacia en estos, mejorando la asimilación y absorción de los nutrientes como las fuentes de proteína y energía, aprovechando un mayor porcentaje el nitrógeno, siendo efectiva en naves para cerdos donde el amoniaco es acumulado en la atmosfera el cual es perjudicial y desagradable para la salud pública y de los animales. Castro *et al.* (2005) señalan que el uso de zeolita disminuye la cantidad de amoniaco reduciendo los malos olores y el contenido de nitrógeno proveniente en orina y heces.

La zeolita produce efectos de mayor absorción de toxinas disminuyendo el número de microorganismos causantes de problemas regulando el pH durante la digestión, previniendo diarreas, mejorando la utilización de nutrientes en el tracto digestivo, el comportamiento productivo y metabólico (Castro *et al.*, 2008; Nestic *et al.*, 2010)

El objetivo de este trabajo es percibir el efecto de la inclusión creciente de zeolita al 0%, 1.5%, 3% y 4.5% en dietas de cerdo en las fases de inicio y crecimiento, desarrollo y finalización, sobre la reducción de gases en el ambiente y retención de nitrógeno en heces.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto en diferentes niveles crecientes de inclusión de zeolita al 0%, 1.5%, 3%, 4.5% en la dieta para cerdos en las fases de inicio, crecimiento, desarrollo y engorda, sobre la reducción de niveles de amoníaco (NH_3) ambiental y la retención de N (nitrógeno) en las heces.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de inclusión crecientes de zeolita al 0%, 1.5%, 3%, 4.5% en dietas de cerdos para reducir el nivel de amoníaco ambiental.
- Evaluar el efecto de inclusión creciente de zeolita al 0%, 1.5%, 3%, 4.5% en dietas de cerdos para el aumento de retención de nitrógeno en heces en cerdos.

III. HIPÓTESIS

El 4.5% de inclusión de zeolita (clinoptilolita) en dietas de cerdos en las etapas de inicio, crecimiento, desarrollo y finalización reducirá los niveles de amoníaco en el ambiente y retendrá el nitrógeno en heces.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Producción de cerdo en México

La porcicultura en México tiene importancia en la producción agropecuaria y economía social, generando empleos y desarrollo económico, produciendo más de un millón de toneladas de carne anualmente. SIAP (2020) señala que los estados de Jalisco, Sonora, Puebla, Yucatán, Veracruz y Guanajuato, fueron los que reflejaron mayor producción de cerdo y en conjunto obtuvieron un 77.7% de la producción nacional en el 2019.

Tomando en cuenta que el sistema de traspatio cuenta a los productores de al menos 6 cerdas, se informa que hay 20 mil productores de cerdos distribuidos desde la frontera norte hasta el sur, los cuales se registraron con 18.4 millones de cerdos en engorda, 870.92 miles de vientres, 30.59 miles de sementales y 162.11 miles de remplazos SIAP (2020).

4.1.1 El consumo de carne de cerdo en México

Una de las principales fuentes de proteína de origen animal para la población es la carne de cerdo, entre los años 2015-2019 hubo un aumento en el consumo nacional de cerdo con un promedio de 4.1%, aumentando de 2.43 a un máximo de 2.97 millones de toneladas de carne en canal. Donde el consumo per cápita fue de 20.3 kg, menor que el consumo de pollo con 34.9 kg, pero mayor que el consumo de res con 14.8 kg (FIRA, 2020).

Con el aumento de una demanda de proteína de origen animal, la producción de carne de cerdo sigue en crecimiento, debido a que muchas familias han reemplazado la carne de res por carne cerdo en su alimentación a causa de su costo accesible. Carretero *et al.* (2016) mencionan que el rendimiento en canal de cerdo llega a un 70% por la forma de aprovechar literalmente todo el cerdo, carne, sangre, viseras, patas, grasa, etc.

4.2 Sistemas de producción

El tipo de sistema establece las prácticas de manejo aplicadas en cada uno. Agrupándose de acuerdo a los rasgos productivos, la tecnología aplicada, nutrición, sanidad, reproducción, genética, integración y los mercados que satisfacen (Figura 1) (Montero *et al.*, 2015).

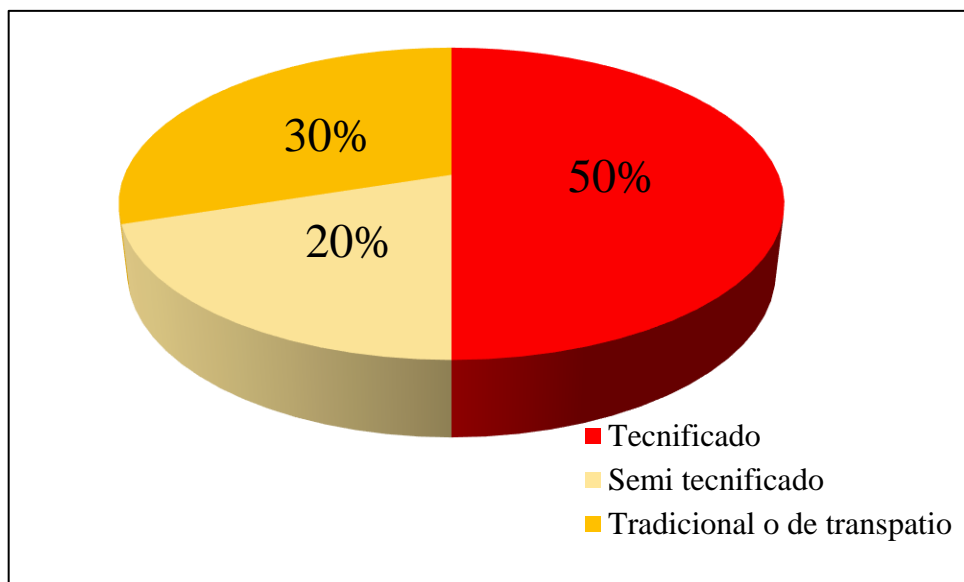


Figura 1. Porcentaje de los tipos de producción porcina en México. Fuente: (Montero *et al.*, 2015).

4.2.1 Sistema tradicional o de traspatio

Considerado de ingreso familiar, de al menos 50 cabezas de ganado de razas Landrace, Pietrain, Yorkshire y cruza, con corrales elaborados de materiales de uso industrial con el fin de albergar a los animales. La alimentación es basada con recursos disponibles, alimento balanceado, desperdicios de cocina, masa agria, desperdicios de verdulerías, etc. No cuentan con un manejo sanitario ni calendario de vacunación, presentando enfermedades respiratorias por mal manejo de heces y limpieza de corrales, problemas digestivos y lesiones físicas (Rivera *et al.*, 2007).

En el medio rural este sistema es parte del comercio, autoconsumo o negocio en forma de cerdo destetado o para abasto, en el cual los rastros locales o vendedores terceros son los lugares de comercio y en algunos casos los productores realizan el sacrificio de sus propios animales, vendiendo la carne al consumidor por kilo o procesada en carnitas y tacos. Maqueda y Alonso (2020) mencionan que este sistema simboliza el 30 % de la obtención de carne del país.

4.2.2 Sistema semi tecnificado

De transición entre un sistema de traspatio a un tecnificado, en el cual el número de cabezas es entre 50 a 500 vientres destinadas a comercio local y regional. Establecido en los estados de Michoacán, Jalisco, Puebla, Hidalgo, estado de México, Veracruz, Tlaxcala. Aportando el 20 % de la producción nacional (SENASICA, 2021).

Presentan carencias en control ambiental, alimentación basada con alimentos comerciales, deficiencias en los programas de alimentación por etapa productiva. Con problemas dispersos y costosos en bioseguridad y sanitarios. Rosado *et al.* (2018) indican que sistema es vulnerable ante cambios económicos, inflación, devaluación, crisis, competencia, etc.

4.2.3 Sistema tecnificado

Con el 50 % de la producción nacional, el cual en 2019 tuvo una producción de 800,222 toneladas de carne. Caracterizado por tener programa zoonosario, empleando líneas genéticas mejoradas mediante selección del material genético realizando inseminación artificial como método reproductivo, alimentación adecuada que cumple con los requerimientos nutricionales de los animales por etapa, manejando registros dentro de cada área para el control de la granja (INTAGRI, 2019).

4.3 Alimentación de cerdos

La alimentación y nutrición de los cerdos se basa en cuatro etapas: inicio, crecimiento, desarrollo y finalización. De acuerdo con el tipo de alimentación que se le brinde este tendrá un efecto sobre el tiempo en que alcance el peso para comercio. La alimentación manifiesta del 70 a 80% de costos en la producción por lo que se debe tener un control en la alimentación, con la alternativa de elaborar la propia dieta para reducir los costos elevados (Durán y Durán 2007).

4.3.1 Alimentación de lechones (Inicio-crecimiento)

La alimentación de un lechón se basa en el consumo de leche materna de 2-4 semanas (14-21 días), el cual necesita ingerir la primera secreción de la glándula mamaria (calostro), consumiendo así, nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de la cría (Lallés *et al.*, 2007).

A los 21-28 días de nacidos en el momento del destete con un peso promedio de 6-8 kg, distinguido por un cambio donde el lechón pasa a una dependencia nutricional alejado de la

madre. Barnett *et al.* (1994). menciona que en los primeros días post destete, la capacidad de ingestión del alimento es poca, por lo que puede haber presencia de diarreas, pérdida o poca ganancia de peso. Una vez de ser destetados se les comienza a ofrecer pequeñas cantidades de alimento (50 - 250 gramos) para lograr un ligero cambio de dieta láctea a dieta sólida de cereales y proteínas de origen animal y vegetal (Danura, 2020).

Existen núcleos que estimulan la ingesta de alimento formados por proteínas y aditivos no nutricionales que, al agregarlos a un concentrado de maíz, pasta de soja, aceite etc., tienen efecto positivo en el consumo de alimento y digestibilidad de nutrientes (Campabadal, 2009).

4.3.2 Alimentación de cerdos (desarrollo – engorda)

El periodo de desarrollo y engorde es una etapa importante, comienza cuando el cerdo tiene un sistema digestivo capaz de utilizar dietas simples. Siendo importante que en las etapas de inicio - crecimiento donde hay mayor síntesis de tejido magro y en la etapa desarrollo – engorda en la cual prevalece la deposición de grasa, por lo que las dietas deben balancearse con los requerimientos y alimentos apropiados para obtener una conversión de alimento eficiente. Los tipos de alimentación que se suministran en cerdos en etapa de desarrollo y engorda son: alimentos balanceados, residuos agrícolas o desperdicios. El éxito en la utilización de estos alimentos depende del balanceo de las dietas y los requerimientos nutricionales (Campabadal, 2009).

4.4 Emisiones de amoníaco

El N (nitrógeno) en los ecosistemas naturales e intervenidas por la actividad humana (agricultura, ganadería, industria), extiende a tener un proceso y transformación causado por ciclos biológicos de forma simultánea y consecutiva, principalmente en el suelo, aire y biomasa. Calvet (2007) menciona que, el proceso de transformación de N-amoniaco (NH_3 – Metano CH_4) es una transformación en el ciclo del nitrógeno.

El amoníaco es producido por una actividad bacteriana en los compuestos con nitrógeno orgánicos. En el contorno pecuario cuando los animales ingieren concentrados ricos en proteína, se excreta entre el 50 y 80% de nitrógeno consumido, debido a una absorción de nitrógeno ineficiente en el animal. Estas emisiones de amoníaco son intervenidas por diversos factores como los son:

- pH
- Temperatura
- Actividades químicas y microbiológicas
- Concentración de nitrógeno amoniacal total ($\text{NH}_4 + \text{NH}_3$)

Siendo la temperatura y el pH los dos factores que derivan la volatilización del amoniaco (Arogo *et al.*, 2006).

El NH_3 es un gas que se libera por la descomposición de estiércol, siendo la orina el principal medio de eliminación de N a través de urea, cuando se une la urea con las heces comienza la descomposición con un proceso rápido induciendo la emisión de NH_3 en el ambiente (Canh *et al.*, 1998).

4.4.1 Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno (N) se encuentra en la naturaleza en forma líquida, gaseosa, corrosiva y con un olor desagradable, depositado en tierra, plantas, suelo y agua. Creando una neblina toxica en forma de NH_3 cuando el nitrógeno se une con azufre, afectando la biodiversidad y el medio ambiente.

El N orgánico se transforma en suelo por ciclos continuos de nitrificación y mineralización (Figura 2) por lo que el N orgánico se convierte en formas no orgánicas (NH_3), nitrificado (NO_3) y captado por bacterias. El ciclo varía con la estructura del suelo, carga orgánica, y factores variables como humedad y transporte (Hofman y Cleemput, 2004).

El N deja el suelo a partir de volatilización en N amoniacal o por transformación a compuestos nitrogenados, como Dinitrogeno (N_2), óxido nitroso (N_2O), óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2), los cuales regresan al suelo al ser trasladados a través de los mantos acuíferos. La incorporación de nitrógeno en la biomasa es provocada por la absorción de las formas inorgánicas (NO_3). Ocurren en la raíz de las plantas, donde las poblaciones bacterianas enfrentan el N inorgánico en sustancias orgánicas. Una vez finalizada, el N en los restos de plantas y animales por sus deyecciones reingresan en el suelo, completando su ciclo edafológico. Una parte del nitrógeno atmosférico se reincorpora al suelo al ser arrastrado por precipitaciones, reaccionando con ácidos y formando sulfatos (sulfato amónico), finalmente depositados y abonando al suelo con una carga antropogénica de N (Hofman y Cleemput, 2004).

La reacción química con ácido sulfúrico y nítrico en el ambiente, favorece a la formación de PM 2.5 (partículas nocivas muy pequeñas en aire) que en gran escala genera problemas pulmonares, asma, y muerte prematura (IQAir, 2016).

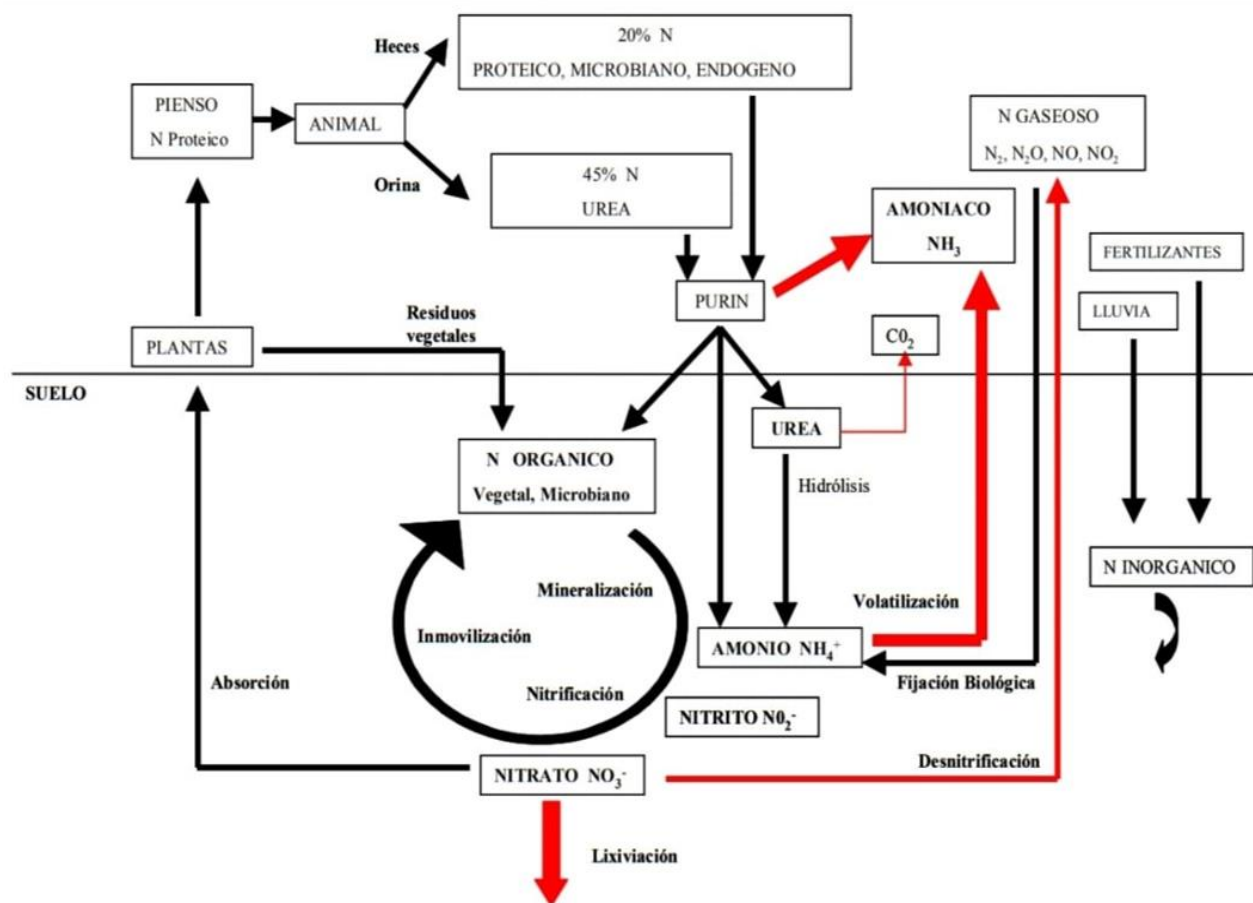


Figura 2. Ciclo del nitrógeno fases y niveles tróficos.

Fuente: (Coma y Bonet, 2004).

4.5 Consecuencias de las emisiones de amoniaco

4.5.1 Salud publica

Estudios en humanos han comprobado que la presencia de gases contaminantes en el medio ambiente causa efectos agudos y crónicos. Afectando la calidad de vida especialmente a personas de la tercera edad, niños, embarazadas y personas con problemas respiratorios o pulmonares (COFEPRIS, 2017)

Dado a que el amoniaco proviene de emisiones en cañerías, carros, granjas, productos de limpieza con sales de amonio, vivimos expuestos a niveles bajos de concentración de amoniaco en el agua, suelo y aire (PROFEPA, 2020).

ATSDR (2004) señala que la población está expuesta al amoniaco al momento de respirar aire, consumir alimentos, tomar agua, a través de la piel con compuestos de amonio. Provocando efectos en el cuerpo como; quemaduras en piel, irritación en ojos, garganta o pulmones y en altas concentraciones estas quemaduras e irritaciones pueden ocasionar ceguera o enfermedades pulmonares.

4.5.2 Ecosistema

Con el aumento antropogénico de las emisiones de gases su influencia en el planeta, se informa que el cambio climático causa diversos problemas al ecosistema a nivel mundial (Benavides y León, 2007).

El amoniaco, dióxido de azufre y los óxidos nitrogenados junto con el ozono troposférico forman partículas en la atmosfera creando contaminantes que afectan el ecosistema. La emisión de amoniaco forma aerosoles, compuestos de sulfato amónico y nitrato amónico que en altas concentraciones afectan la calidad del aire, suelo y agua (Ávila, 2019).

INECC (2019), menciona que a nivel nacional los problemas que ocurren tras las emisiones de gases, son notables contribuyendo a la amenaza para diversos elementos del ecosistema que son afectados, animales, plantas, suelos, aire y en algunos casos el grado de vulnerabilidad es muy crítico.

4.5.3 Mantos acuíferos

La contaminación de los matos acuíferos se debe a la presencia de amonio y sulfatos provenientes de las heces y orina de los cerdos. La lixiviación e infiltración de altas concentraciones de nitrógeno, fosforo y solidos a los mantos acuíferos tiene como consecuencia la contaminación, eliminando el oxígeno presente en cuerpo de agua, asentando un riesgo en la calidad y fuentes de abastecimiento de agua para la población. Además, la presencia de nitrógeno en forma de nitratos (NO_3) el los abastecimientos de agua representa un riesgo sanitario, produciendo nitrosaminas, sustancia que aumenta el riesgo de cáncer en el estómago. (SEMARNAT, 2023).

Batllori y Febles (2002) menciona que, de acuerdo a el registro de Conagua, en el segundo periodo del 2013 en el estado de Yucatán se generaban 374 descargas contaminantes pecuarios provenientes de granjas de cerdos con 9 millones de metros cúbicos anuales.

4.6 Emisiones de amoniaco en granjas de cerdos

La actividad ganadera en responsable en la emisión de NH_3 , (NH_4), (CO_2) y óxido nitroso (O_2) provenientes de eructos, orina y heces. En México, la producción agropecuaria es causante de 15% de estas emisiones en el país (Figura 3), siendo la explotación de ganado bovino, ovino y porcino las principales fuentes de estas emisiones (INECC, 2018).

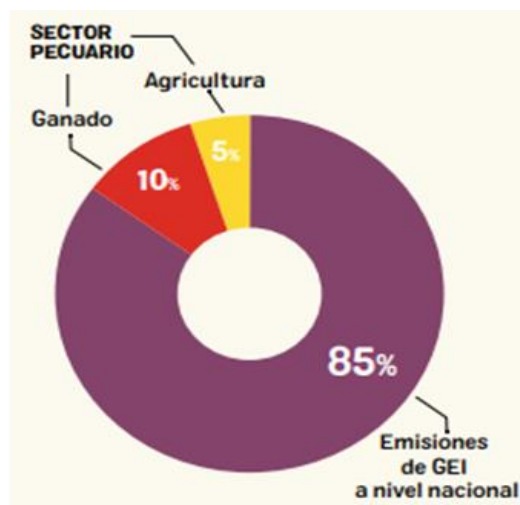


Figura 3. Emisiones de gases producidos por el sector pecuario en México.
Fuente: (INECC, 2018).

Debido a las heces y orina, en la explotación pecuaria las granjas de cerdos generan residuos de N, que se liberan al ambiente provocando un foco de contaminación, afectando la calidad del suelo, aire, agua, salud de los cerdos y la calidad de vida de los humanos. Pérez (1997) menciona que estudios realizados relevan que un cerdo de 100 kg excreta un aproximado de 6.17 kg de heces y orina por día.

FAO (2013) señala que, a nivel mundial la producción de cerdos produce 668 millones de toneladas de NH_3 , representando el 9 % de las emisiones del sector pecuario, siendo una fuente importante el almacenamiento y elaboración del estiércol que representa el 27.4 %, representando el 19.2 % en forma de CH_4 y el 8.2 % en forma de N_2O .

Entre los factores principales que tienden a emitir gases de efecto invernadero es la cantidad de estiércol y orina que se produce y se descompone. INECC (2019) indica que en Yucatán en el 2018 las emisiones de estos gases provenientes de granjas porcinas fueron similares a 1,291,904 vehículos en México en un año.

4.7 Como se generan estos gases en la producción porcina

4.7.1 Amoniaco

El Amoniaco resulta de la descomposición de excretas por microorganismos requeridos de pH alcalino y temperatura superior a 35°C , para ascender en el crecimiento de bacterias y la producción de amoníaco (Walter, 2016; Snoek *et al.*, 2014).

4.7.2 Metano

La producción de CH_4 es determinada por reacciones y degradación de compuestos orgánicos, consiste en la fermentación anaeróbica de purines mediante bacterias metanogénicas. (IPCC, 2019).

Le energía excretada por las heces es la principal fuente de emisión de gases por la fermentación entérica y una pérdida de energía digestible que no pudo ser metabolizada. Por tanto, acaba emitiéndose mediante un burbujeo en el purín (Calvet *et al.*, 2020).

4.7.3 Óxido nitroso

La mayor parte del óxido nitroso se produce por la acción y transformación del nitrógeno por los procesos de nitrificación y desnitrificación, debido al N_2O en granjas que libera el almacenamiento, gestión y tratamiento de estiércol. IPCC (2006) comenta que el estiércol aporta

el 25 % de las emisiones de óxido nitroso y contribuye con el 0.7 % de emisiones de este gas por la actividad pecuaria en el mundo.

4.7.3.1 Nitrificación

La nitrificación es la oxidación del amonio a nitrato por microorganismos que usan el oxígeno molecular como antioxidante. Con la presencia de oxígeno, temperatura entre (25 - 30 ° C) y un pH alcalino (7.8) la nitrificación es favorecida (Gerardi, 2002).

4.7.3.2 Desnitrificación

Es un proceso en la respiración de bacterias que utiliza nitrato como electrón aceptor en ausencia de oxígeno. La reacción de Nitritos a nitrógeno gas sucede por una reducción en etapas seriales catalizadas por sistemas enzimáticos. como creando nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso, por consecuencia de estas reacciones (Iagua, 2018).

4.7.4 Dióxido de carbono

La mayor parte de CO₂ generado se debe a la respiración de los animales mientras que la cantidad que se libera a partir del purín es el 37,5 % (CAST, 2011).

4.8 Historia de la zeolita

En 1756 el mineralogista Axel Fredrick Cronstedt descubrió que algunos minerales naturales, perdían el agua al calentarse y los llamo zeolitas, nombre griego (zeo lithos) que quiere decir ebullición de piedras (Moshoeshoe *et al.*, 2017).

La formación de estas son el resultado de un cambio hidrotérmico por el agua y rocas volcánicas de silicio y álcalis, formando rocas que al ser procesadas y molidas se convierten en un polvo fino y cristalino (Figura 4) (Maldonado, 2020).



Figura 4. Forma física de la zeolita

Fuente: (Maldonado, 2020).

4.8.1 Estructura

La zeolita natural (clinoptilolita) son aluminosilicatos cristalinos de estructura micro porosa tridimensional de tetraedros TO^4 ($T = Si, Al, B, Ga, Ge, Fe$) unidos por átomos de oxígeno (Figura 5), forman cavidades con dimensiones de 3 a 13 nanómetros. Estructura que permite la transferencia de moléculas por el diámetro de las cavidades porosas y el medio que las rodea (GEOXNET, 2014).

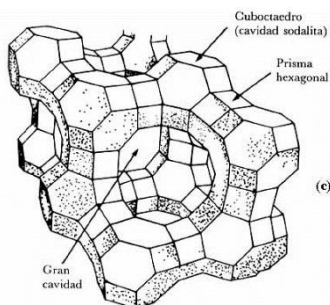


Figura 5. Estructura micro porosa de la zeolita.

Fuente: (GEOXNET 2014).

Tiene la capacidad de liberar, atrapar e intercambiar cationes de moléculas específicas ya sea por absorción o intercambio iónico sin cambiar su estructura (Auerbach *et al.*, 2010).

4.8.2 Propiedades de la zeolita

4.8.2.1 Porosidad:

Su estructura micro porosa de (3 a 13 angstroms), aprueba la transferencia de moléculas del medio que lo rodea. La transferencia es restringida por el diámetro de los poros de la zeolita, donde podrán ingresar o salir aquellas moléculas con tamaño inferior a los poros de la zeolita (Lobo, 2003).

4.8.2.2 Absorción:

Las Zeolitas tienen alta eficacia de adsorber, debido a la estructura porosa interna que tiene en su interior muestra la capacidad de succionar las moléculas siendo capaces de incrementar la potencia de adsorción los poros más pequeños (García y Pérez, 2003).

4.8.2.3 Intercambio iónico

El intercambio iónico depende de factores como concentración de cationes en la naturaleza, temperatura, aniones, solvente, estructura, topología y densidad de la carga de red zeolítica. Esta capacidad está relacionada con la cantidad de Al (aluminio) en la red zeolítica y depende de su composición química (Breck, 1973).

4.9 Zeolita en nutrición animal

La inclusión de zeolitas naturales ha desarrollado efectos positivos en la producción animal al mejorar la absorción de los nutrientes en los animales como lo son las fuentes de proteína, mejorando los rendimientos productivos de los animales, Castaing (1998) señala que las zeolitas más manejadas en nutrición han sido la clinoptilolita y la modernita y indica que las zeolitas actúan secuestrando micotoxinas, eliminando metales pesados y descontaminante. Disminuyendo la velocidad del tránsito del bolo en el intestino, beneficiando la absorción intestinal, disminuyendo enfermedades gastrointestinales previniendo diarreas y úlceras gástricas.

4.9.1 Reducción de la excreción de nitrógeno y digestibilidad de los nutrientes

Los cerdos consumen una gran cantidad de proteína y energía que al no poder asimilar en su totalidad se eliminan restos por las heces y orina en forma de urea hasta degradarse a amoníaco. Cerca del 35 % del nitrógeno ingerido es retenido por el animal y el 65% es excretado en forma de orina y heces (MAPAMA, 2017)

La inclusión de zeolita en la dieta de los cerdos mejora la absorción de los carbohidratos, proteína y grasa, y debido a la capacidad de intercambiar cationes de calcio y amonio y reducir el impacto ambiental (Ruiz *et al.*, 2007).

Al tener la capacidad de capturar iones de amonio en proteínas durante los procesos digestivos e incrementar la actividad enzimática, microbiana y mejorando la utilización del nitrógeno proteico. Parisini *et al.* (1999). Señalo que el 2% de zeolita en dietas para cerdos mejoran la retención de nitrógeno.

Shurson *et al.* (1984) señala que la zeolita reduce el porcentaje de urea en la sangre, esto se debe a que la zeolita tiene la propiedad de capturar iones de amonio producidos por las proteínas durante la digestión.

Alexopoulos *et al.* (2007) determinaron que al suministrar 2 % de zeolita en dietas para cerdos de 25 días de edad, disminuyeron las proporciones de urea y colesterol en sangre en las etapas de crecimiento y finalización.

Collazos (2010) indico que la zeolita altera el pH y la composición iónica de los jugos gastrointestinales debido al tiempo de paso del alimento por lo cual las vellosidades de la microflora del intestino facilitan el drenaje de sangre lo que mejora la absorción de nutrientes.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Características de la localización

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de una unidad porcina ubicada en la comunidad del Mirador Ixtacamaxtitlan Puebla (Figura 6). Con las coordenadas geográficas latitud N 19°33'27" y longitud W 97°46'20", una altura de 2780 msnm con precipitación de 500 a 600 mm y un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI 2009).

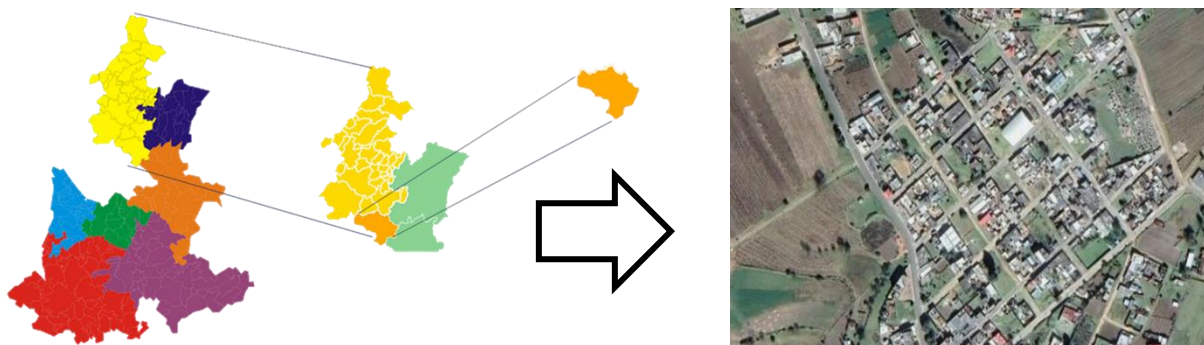


Figura 6. Ubicación geográfica del Mirador Ixtacamaxtitlan

Fuente: (INEGI 2009).

5.2 Instalaciones y equipo

El trabajo fue realizado en instalaciones con paredes de block y concreto, piso de cemento con desnivel del 3%, techo de lámina galvanizada de un agua. Se acondicionaron 4 corrales de 2.5 metros de ancho por 3 metros de largo, colocando comederos de metal y bebederos de chupón, los corrales fueron cubiertos por separado con material plástico (nylon) para poder realizar la medición del amoniaco ambiental.

5.3 Unidad experimental

Fueron 16 lechones machos trilinea (pietrain-yorck-landrace) de 35-40 días de nacidos para abasto, con un peso promedio de 15 ± 3 kg, se seleccionaron por condición corporal, tamaño y días de destete para obtener lotes homogéneos.

5.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, en el cual las unidades experimentales fueron distribuidas en cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución del diseño experimental y tratamientos

| Tratamiento | T1 _{n=4} | T2 _{n=4} | T3 _{n=4} | T4 _{n=4} |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Zeolita clinoptilolita | 0% | 1.50% | 3.50% | 4.50% |

T1, T2, T3, T4: tratamientos; n=: número de cerdos por tratamiento

5.5 Material experimental

El material a evaluar fue (clinoptilolita) zeolita natural, proporcionada por el colegio de postgraduados campus Puebla. En el cual se realizó un análisis de pureza con el método de prueba: gravimetría. HCL 3m. Fluorescencia de rayos X (Cuadro 2).

Cuadro 2. Pureza de la zeolita

| Prueba | Resultados g/100g. |
|--|--------------------|
| Insolubles en HCL | 74.6 |
| Aluminio como AL ₂ O ₃ . | 10.9 |
| Calcio como CaO. | 7.6 |
| Fosforo como P ₂ O ₅ . | 0.05 |
| Hierro como Fe ₂ O ₃ . | 1.5 |
| Potasio como K ₂ O. | 2.1 |
| Magnesio como MgO. | 2 |
| Manganeso como MnO. | 0.05 |
| Silicio como SiO ₂ . | 58.1 |
| Sodio como NA ₂ O. | 2.2 |
| Titanio como TiO ₂ . | 0.2 |

HCL: ácido clorhídrico; AL₂O₃: Oxido de aluminio; CaO: Oxido de calcio; P₂O₅: Oxido de fosforo; Fe₂O₃: Óxido de hierro; K₂O: Oxido de potasio; MgO: Oxido de magnesio; MnO: Oxido de manganeso; SiO₂: Dióxido de silicio; NA₂O: Oxido de sodio; TiO₂: Oxido de titanio; g: Gramos.

5.6 Alimento

Los ingredientes fueron mezclados en una tolva de la marca azteca (México) con capacidad de 500 kilogramos. En cuanto a los requerimientos de energía y proteína según el NRC (2007) de las diferentes etapas, inicio (Cuadro 3 y 4), crecimiento (Cuadro 5 y 6), desarrollo (Cuadro 7 y 8) y engorda (Cuadro 9 y 10). El alimento y agua estuvo a libre acceso en todas las etapas.

Cuadro 3. Dieta de cerdos con inclusión de zeolita para la etapa inicio 10-25 kg

| Ingredientes | % | T1 0% | T2 1.5% | T3 3% | T4 4.5% |
|---------------------|------|-------|---------|-------|---------|
| Maíz amarillo | 38.1 | 38.1 | 38.1 | 38.1 | 38.1 |
| Sorgo | 16.5 | 16.5 | 15 | 13.5 | 12 |
| Harina de soya 44% | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| Carbonato de calcio | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Fosfato di cálcico | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Metionina 99% | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| Lisina 78% | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Sal común | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Zeolita natural | 0 | 0 | 1.5 | 3 | 4.5 |
| Levadura | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Aceite de canola | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

kg: kilogramos de la etapa; p.v.: peso vivo.

Cuadro 4. Nutrientes proporcionados en la dieta de cerdos en etapa inicio

| Nutrientes | % |
|----------------------|-------|
| Materia seca | 90.39 |
| EM cerdos, Mcal/kg | 2.94 |
| Proteína cruda | 20.17 |
| Fibra curda | 3.06 |
| Extracto etéreo | 5.26 |
| Calcio | 2.62 |
| Fosforero Disponible | 0.46 |
| Sodio | 0.13 |
| Arginina | 1.21 |
| Lisina | 1.5 |
| Metionina | 1.6 |
| Metionina+Cistina | 1.89 |
| Treonina | 0.77 |
| Triptófano | 0.24 |

EM: Energía metabolizable; Mcal: Mega calorías; kg: Kilo gramos.

Cuadro 5. Dieta de cerdos con inclusión de zeolita para la etapa crecimiento 25-50 kg.

| Ingredientes | % | T1 0% | T2 1.5% | T3 3% | T4 4.5% |
|---------------------|-------|-------|---------|-------|---------|
| Maíz amarillo | 39.1 | 39.1 | 39.1 | 39.1 | 39.1 |
| Sorgo | 20.52 | 20.52 | 19.02 | 17.52 | 16.02 |
| Harina de soya 44% | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Carbonato de calcio | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Fosfato di cálcico | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Metionina 99% | 1.325 | 1.325 | 1.325 | 1.325 | 1.325 |
| Lisina 78% | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Sal común | 0.255 | 0.255 | 0.255 | 0.255 | 0.255 |
| Zeolita natural | 0 | 0 | 1.5 | 3 | 4.5 |
| Levadura | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Aceite de canola | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

kg: kilogramos de la etapa; p.v.: peso vivo.

Cuadro 6. Nutrientes proporcionados en la dieta de cerdos en etapa crecimiento.

| Nutrientes | % |
|--------------------|-------|
| Materia seca | 90.32 |
| EM cerdos, Mcal/kg | 2.96 |
| Proteína cruda | 18.39 |
| Fibra curda | 2.88 |
| Extracto etéreo | 5.35 |
| Calcio | 2.6 |
| Fosforo Disponible | 0.45 |
| Sodio | 0.13 |
| Arginina | 1.08 |
| Lisina | 1.37 |
| Metionina | 1.57 |
| Metionina+Cistina | 1.85 |
| Treonina | 0.7 |
| Triptófano | 0.22 |

EM: Energía metabolizable; Mcal: Mega calorías; kg: Kilo gramos.

Cuadro 7. Dieta de cerdos con inclusión de zeolita para la etapa desarrollo 50-75 kg.

| Ingredientes | % | T1 _{10%} | T2 _{1.5%} | T3 _{3%} | T4 _{4.5%} |
|---------------------|-------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Maíz amarillo | 40.1 | 40.1 | 40.1 | 40.1 | 40.1 |
| Sorgo | 27.52 | 27.52 | 26.02 | 24.52 | 23.02 |
| Harina de soya 44% | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| Carbonato de calcio | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Fosfato di cálcico | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Metionina 99% | 1.325 | 1.325 | 1.325 | 1.325 | 1.325 |
| Lisina 78% | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Sal común | 0.255 | 0.255 | 0.255 | 0.255 | 0.255 |
| Zeolita natural | 0 | 0 | 1.5 | 3 | 4.5 |
| Levadura | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Aceite de canola | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

kg: kilogramos de la etapa; p.v.: peso vivo.

Cuadro 8. Nutrientes proporcionados en la dieta de cerdos en desarrollo.

| Nutrientes | % |
|--------------------|-------|
| Materia seca | 90.2 |
| EM cerdos, Mcal/kg | 2.99 |
| Proteína cruda | 15.56 |
| Fibra curda | 2.59 |
| Extracto etéreo | 5.49 |
| Calcio | 2.59 |
| Fosforo disponible | 0.44 |
| Sodio | 0.13 |
| Arginina | 0.86 |
| Lisina | 1.17 |
| Metionina | 1.53 |
| Metionina+Cistina | 1.78 |
| Treonina | 0.58 |
| Triptófano | 0.18 |

EM: Energía metabolizable; Mcal: Mega calorías; kg: Kilo gramos.

Cuadro 9. Dieta de cerdos con inclusión de zeolita al para la etapa finalización 75-100 kg

| Ingredientes | % | T1 0% | T2 1.5% | T3 3% | T4 4.5% |
|---------------------|-------|-------|---------|-------|---------|
| Maíz amarillo | 46.1 | 46.1 | 46.1 | 46.1 | 46.1 |
| Sorgo | 27.52 | 27.52 | 26.02 | 24.52 | 23.02 |
| Harina de soya 44% | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Carbonato de calcio | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Fosfato di cálcico | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Metionina 99% | 1.325 | 1.325 | 1.325 | 1.325 | 1.325 |
| Lisina 78% | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Sal común | 0.255 | 0.255 | 0.255 | 0.255 | 0.255 |
| Zeolita natural | 0 | 0 | 1.5 | 3 | 4.5 |
| Levadura | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Aceite de canola | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

kg: kilogramos de la etapa; p.v.: peso vivo.

Cuadro 10. Nutrientes proporcionados en la dieta de cerdos en finalización

| Nutrientes | % |
|--------------------|-------|
| Materia seca | 90.14 |
| EM cerdos, Mcal/kg | 3.02 |
| Proteína cruda, | 13.45 |
| Fibra curda, | 2.37 |
| Extracto etéreo | 5.64 |
| Calcio | 2.57 |
| Fosforo disponible | 0.43 |
| Sodio | 0.13 |
| Arginina | 0.7 |
| Lisina | 1.02 |
| Metionina | 1.51 |
| Metionina+Cistina | 1.73 |
| Treonina | 0.49 |
| Triptofano | 0.15 |

EM: Energía metabolizable; Mcal: Mega calorías; kg: Kilo gramos.

5.8 Variables evaluadas

5.8.1 Amoníaco en el ambiente y temperatura.

Se realizó con un medidor de gas amoníaco de modelo HOLDPEAK HP-5800G (China).

Para la medición de gas amoníaco se sellaron de manera individual los 4 corrales con material plástico (nylon) para evitar la salida y exposición del amoníaco entre los tratamientos. Este procedimiento se realizó semanalmente cada tres horas comenzando a las 8:00 am y terminando a las 8:00 am del siguiente, anotando el número más alto de NH_3 ppm y la temperatura de cada corral.

5.9.2 Determinación de proteína - nitrógeno en heces

Se recolectaron las heces cada 15 días durante todas las etapas y se metieron en bolsas zip lock, se congelaron a -20° , posteriormente se descongelaron y se metieron a un horno de aire forzado de la marca Riessa (Alemania) durante cinco días para su secado, se molieron y se analizaron las muestras mediante el método micro Kjeldahl según (AOAC, 1975).

Equipo:

- Aparato de digestión microKjeldahl.
- Destilador microKjeldahl.
- Matraces Kjeldahl.
- Matraces Erlenmeyer de 50ml.
- Bureta de 25ml.

Reactivos:

- H_2SO_4 (ácido sulfúrico).
- Solución de ácido bórico al 4%.
- Solución de rojo metilo y verde bromocresol
- Mezcla catalizadora (96g $-\text{Na}_2\text{SO}_4$ (sulfato de disodio), 3.5g $-\text{CuSO}_4$ (sulfato de cobre) y 0.5g de Se (selenio).
- Solución de NaOH al 40% (hidróxido de sodio).
- Solución valorada de HCL (ácido clorhídrico) o H_2SO_4 (ácido sulfúrico) cercana al 0.1 N.

Procedimiento:

1. Pesar en un papel .5g de muestra de heces y se deposita en el matraz y a este se le adiciona .5g de mezcla catalizadora y 3 ml de ácido sulfúrico.
2. Colocar el matraz en las parrillas del digestor y encenderlas junto con el extractor de gases durante 1-2 horas o hasta que la muestra se torne de un color verde transparente, para ese punto se apagan las parillas y se deja enfriar la muestra.
3. Verter el contenido digerido a un matraz Kjeldahl de 30ml y colocarlo en el destilador Kjeldahl.
4. Depositar 6ml de solución de ácido bórico al 4% en un matraz Erlen meyer de 50 ml en el extremo del destilador cuidado que el condensador quede sumergido dentro de la solución.
5. Adicionar 12 ml de NaOH a la muestra digerida mediante el destilador, destilar hasta obtener 20ml de destilado y retirar el matraz Erlen meyer.
6. Titular el destilado con solución valorada al 0.1 normal.
7. Hacer un blanco siguiendo todo el procedimiento.
8. Hacer el cálculo con la siguiente formula:

$$\% N = \frac{(\text{ml}) (\text{Normalidad del ácido}) (1.4)}{\text{Peso de la muestra en gramos}}$$

Y la proteína calculada será = %N obtenido x 6.25.

Donde:

- ml = mililitros del ácido gastado en la muestra.
- Normalidad del ácido clorhídrico = 0.1
- Peso de la muestra
- 1.4 = ajuste para nitrógeno que será 0.014 miliequivalentes multiplicado por 100 para sacar porcentaje.

5.8.3 pH en heces

Se recolectaron las heces cada 15 días durante todas las etapas y se metieron en bolsas zip lock, se congelaron a -20° , posteriormente se descongelaron y se metieron a un horno de aire forzado de la marca Riosaa (Alemania) durante cinco días para su secado y se molieron.

Para la toma del pH se formaron muestras compuestas de las heces colectadas por tratamiento y se realizó el siguiente procedimiento:

- Tomar tres muestras por cada tratamiento previamente secadas
- Tamizar las muestras con un tamiz de 2 mm (milímetros).
- Pesar 20 g de heces por cada una de las tres muestras de cada tratamiento.
- Añadir la muestra a un vaso de precipitados con 20 ml de agua destilada.
- Agitar la mezcla durante 15 minutos.
- Dejar reposar la mezcla durante 15 minutos.
- Medir el pH en el líquido que queda arriba. Para ello se utilizó un medidor de pH electrónico.

5.9 Análisis estadístico

Las variables evaluadas se analizaron utilizando un diseño experimental completamente al azar cuyo modelo estadístico es:

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

donde:

Y_{ij} = variable respuesta del i -ésimo tratamiento de la j -ésima repetición

$$i = 1, 2, 3, 4$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

μ = Media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

E_{ij} = Error experimental

El análisis estadístico se realizó por medio del procedimiento modelo general lineal (GML) y para la comparación de medias de utilizo la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico SAS ver. 9.0.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la variable de NH_3 ppm en los tratamientos T_2 , T_3 , T_4 , mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto al T_1 , señalando que en cerdos en etapa inicio alimentados con zeolita al 1.5%, 3% y 4%, retienen a una proporción mayor el nitrógeno en heces provocando una disminución en los niveles de amoniaco en el ambiente (Cuadro 11). En forma similar Castro e Iglesias (1989) quienes trabajaron con inclusión al 0, 3, 6 y 9 % de zeolita en alimentación de cerdas en etapa inicio. Demostraron que estas al consumir zeolita presentaron una mayor retención de nitrógeno en heces.

La variable N (nitrógeno) en heces muestra que, en el T_1 , T_2 , T_3 mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con respecto al T_4 , el cual denota que con un porcentaje mayor de zeolita aumenta la retención de N en heces en cerdos en etapa inicio (Cuadro 11). Por lo contrario, Méndez (2012), no encontró resultados en disminución de N en heces en cerdos alimentados con 3, 6% de zeolita en la dieta.

Cuadro 11. Variables ambientales de la etapa inicio en cerdos alimentados con zeolita.

| | T1 n=4 | T2 n=4 | T3 n=4 | T4 n=4 |
|-------------------|-----------|------------|------------|-----------|
| Variables | 0% | 1.5% | 3% | 4.5% |
| NH_3 ppm | 14.6±6.6a | 12.5±6.86b | 12.6±6.2b | 13.2±6.4b |
| Temperatura | 19.5±2.5a | 17.9±2.1b | 18.5±2.5ab | 19.6±2.4a |
| N en heces | 2.6±0.06c | 3.0±0.07b | 3.1±0.06b | 3.3±0.03a |
| pH en heces | 7.5±0.2a | 7.5±0.15a | 7.4±0.05a | 7.3±0.2a |

n: Numero de animales por tratamiento; NH_3 : Amoniaco; ppm: partes por millón N: Nitrógeno; pH: Potencial de hidrogeno; Las letras (a, b, c) significan la diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Para la variable NH₃ ambiental en la etapa de crecimiento hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre todos los tratamientos, indicando que hay menor nivel de NH₃ utilizando un mayor porcentaje de zeolita en dietas para cerdos en etapa de crecimiento, junto con la variable N en heces los tratamientos T4 y T3 mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) al tratamiento 1 (Cuadro 12). Señalando que los cerdos en etapa de crecimiento alimentados con zeolita al 3.5 y 4.5% de la dieta reducen los niveles de NH₃ en el ambiente debido a la retención de N en heces. Complementando lo que demostraron Castro *et al.* (2005) que las emisiones de amoníaco liberado por las heces y orina disminuyen al incluir zeolita a una dieta a base de maíz y soya con el 18 % de proteína.

Es decir que la zeolita tiene la capacidad de mineralizar el N en las heces y esta a su vez disminuye el NH₃ ppm en el ambiente.

Cuadro 12. Variables ambientales de la etapa crecimiento en cerdos alimentados con zeolita.

| Variables | T1 _{n=4} 0% | T2 _{n=4} 1.5% | T3 _{n=4} 3% | T4 _{n=4} 4.5% |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| NH ₃ ppm | 32.5±6.6a | 30.0±5.6b | 27.7±5.5c | 25.9±4.9d |
| Temperatura | 19.6±4.04a | 19.2±2.9a | 19.3±2.9a | 19.2±2.9a |
| N en heces | 2.6±0.008c | 3.1±0.04b | 3.4±0.1ab | 3.6±0.2a |
| pH en heces | 7.2±0.1a | 7.2±0.1a | 7.2±0.05a | 7.4±0.1a |

n=: Numero de animales por tratamiento; NH₃: Amoníaco; ppm: partes por millón; N: Nitrógeno; pH: Potencial de hidrogeno; Las letras (a, b, c, d) significan la diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Los cerdos en las etapas de inicio y crecimiento alimentados con la inclusión de zeolita reflejan una disminución del amoníaco ambiental. En el cuadro 12 se muestra que la zeolita reduce el amoníaco ambiental siendo el T4 el tratamiento con menor emisión de NH_3 ppm, por otra parte, el N en heces en los tratamientos T3 y T4 demostraron una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en mayor retención de N. Esto se refuerza con lo mencionado por Lefcourt y Meisinger (2001) quienes demostraron en una investigación que la zeolita absorbe iones de N en heces y amoníaco, disminuyendo las emisiones de gases de contaminación ambiental.

Demostrando que la zeolita (clinoptilolita) funciona mejorando el proceso de mineralización de N en heces, por lo que disminuye la emisión de amoníaco en el ambiente.

Cuadro 13. Variables ambientales de la etapa desarrollo en cerdos alimentados con zeolita.

| | T1 _{n=4} | T2 _{n=4} | T3 _{n=4} | T4 _{n=4} |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Variables | 0% | 1.5% | 3% | 4.5% |
| NH_3 ppm | 35.5±4.3a | 33.9±4.3b | 32.9±4.3b | 30.7±3.7c |
| Temperatura | 18.8±2.7a | 18.0±2.6b | 18.3±2.4ab | 18.5±2.4ab |
| N en heces | 2.6±0.1c | 2.9±0.09b | 3.4±0.05a | 3.5±0.04a |
| pH en heces | 7.1±0.1a | 7.2±0.1a | 7.3±0.05a | 7.3±0.15a |

n: Numero de animales por tratamiento; NH_3 : Amoníaco; ppm: partes por millón N: Nitrógeno; pH: Potencial de hidrogeno; Las letras (a, b, c) significan la diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos en la etapa de finalización indican que la temperatura ambiental y el pH en heces no mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) por lo que no intervienen en la emisión de amoníaco. Debido a que las variables mostraron reducción de NH_3 y una mayor retención de N en heces en los tratamientos con un 3 % y 4.5% de zeolita en la dieta (cuadro 13). Por el contrario, Arogo *et al.* (2006) quienes realizaron su investigación en carolina del norte en EE.UU. Mencionaron que la temperatura y el pH son factores relevantes que estimulan la volatilización de amoníaco por una baja retención de N en heces. Por lo que unos de los factores que modificaron estos resultados pudieron ser la estación o el lugar donde se realizó en trabajo.

Cuadro 14. Variables ambientales de la etapa finalización en cerdos alimentados con zeolita.

| Variables | T1 _{n=4} 0% | T2 _{n=4} 1.5% | T3 _{n=4} 3% | T4 _{n=4} 4.5% |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| NH ₃ ppm | 32.5±6.3a | 30.3±5.8bc | 30.8±6.9b | 29.8±6.7c |
| Temperatura | 18.4±2.9a | 18.1±2.9a | 18.1±2.8a | 18.4±2.7a |
| N en heces | 2.6±0.1c | 2.9±0.09b | 3.4±0.06a | 3.6±0.09a |
| pH en heces | 6.7±0.1a | 6.7±0.05a | 6.8±0.05a | 6.7±0.1a |

n: Numero de animales por tratamiento; NH₃: Amoníaco; ppm: partes por millón N: Nitrógeno; pH: Potencial de hidrogeno; Las letras (a, b, c) significan la diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

VII. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo la zeolita natural (clinoptilolita) al ser incluida en la alimentación de cerdos al 4.5% mejora el proceso de mineralización de N aumentando el porcentaje de retención en heces y una disminución en la emisión de amoniacó ambiental. Por lo que se considera que a mayor cantidad de inclusión de zeolita en las dietas de cerdos disminuirá los niveles de amoniacó en el ambiente reduciendo la magnitud de los riesgos que provocan las altas concentraciones de este en la salud pública.

Así mismo al mostrar una mayor retención de N en heces puede mostrar una mejora en la composición de los purines. Recomendado realizar trabajos utilizando estas heces como fertilizante orgánico para la producción agrícola.

VIII. 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*. 111:230–241
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1975. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D. C. ed. 12th.
- Arogo J., Westerman P. W., Heber A. J., Robarge W. P., Classen J. J. 2006. Ammonia emissions from animal feeding operations. National Center for Manure and Animal Waste Management. North Carolina State University 6 p. en línea: [file:///C:/Users/oscar/Downloads/Ammonia_Emissions_from_Animal_Feeding_Operations%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/oscar/Downloads/Ammonia_Emissions_from_Animal_Feeding_Operations%20(1).pdf). Consultado: 05/04/2023
- ATSDR (Agencia para Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades. 2004. Resumen de salud pública. Amoniac. Divicion de la Toxicologia. En línea: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs126.pdf. Consultado: 01/01/2023.
- Auerbach S.M., Carrado K. A. & Dutta P.K. 2010. Handbook of zeolite science and technology. 3ª. ed. Marcel Dekker, Inc. New York • Basel. pp: 15-18
- Ávila G. M. 2019. El amoniaco atmosférico, una amenaza que ya tiene rostro. En línea: <https://www.elindependiente.com/desarrollo-sostenible/2019/01/12/el-amoniaco-atmosfericounaamenazaqueyatienerostro/#:~:text=Los%20dep%C3%B3sitos%20de%20amoniac%2C%20al,filtra%20a%20las%20aguas%20dulces>. Consultado: 10/05/2023.
- Barnett J.L., Cronin G.M., McCallum T.H., Newman E.A. 1994. Effects of food and time of day on aggression when grouping unfamiliar adult pigs. *Applied Animal. Behaviour Science*. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/01168159194901678>. Consultado: 29/04/2023

- Batllore S.E., y Febles J.L. 2002. "El agua subterránea en el desarrollo regional de la península de Yucatán", Avance y Perspectiva. Ed. Chávez-Guzmán. México, Cinvestav. pp: 67-78
- Benavides B. H. O., Leon A. G. E. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Edición. IDEAM. Colombia. 26-35 pp.
- Breck D. W. 1973. Zeolite Molecular Sieves: Structure. Edición. A Wiley-Interscience publication. New York. USA. 771 p.
- Calvet S. 2007. Emisión de amoníaco. *In*: Curso Ingeniería Ambiental en la Ganadería Intensiva, Fundación Biodiversidad. Generalitat Valenciana y Unión Europea. ed. Valencia.
- Calvet S., Estellés F. J., Cartanyà D. B. 2020. Guía para la minimización de las emisiones de gases en las granjas porcinas. Instituto de Ciencia y Tecnología Animal, Universitat Politècnica de València. España. En línea: file:///C:/Users/oscar/Downloads/Guia_para_la_minimizacion_de_las_emisiones_de_gase.pdf. Consultado: 30/03/2023.
- Campabadal C. 2009. Guía Técnica para Alimentación de Cerdos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. En línea: https://images.engormix.com/externalFiles/6_campabadal-guia-nutricion-cerdos. Consultado: 9/1/2023.
- Canh T.T., Sutton A.L., Aarnink A.J., Verstegen M.W., Schrama J.W., Bakker G.C. 1998. Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and the ammonia emission from slurry of growing pigs. *J Anim Sci*. Ed. (7): 1887-95.
- Capistrán F. R., Lever P. A., Zorrilla F. C., Husny R. E., González G. A. 2000. Daño broncopulmonar por inhalación masiva de amoníaco. *anales médicos* 45 (3): 128 – 133.
- Carretero R. C., Dolores P. O., Sagner H. E., Toldrà A. M. 2016. Aprovechamiento de subproductos porcinos. *3tres3* (comunidad profesional porcina). En línea: https://www.3tres3.com/es-mx/articulos/aprovechamiento-de-subproductos-porcinos_2613/. Consultado: 1/06/2023.

- CAST (Council for Agricultural Science and Technology). 2011. Emisión de gases en las explotaciones porcinas. 3tres3 (Comunidad Profesional Porcina). En línea: https://www.3tres3.com/articulos/emisiones-de-gases-en-las-explotacionesporcinas_30067/#:~:text=La%20mayor%20parte%20de%20CO,2%20exhalado%20por%20los%20animales. Consultado: 5/01/2023.
- Castaing J. 1998. Uso de las arcillas en la alimentación animal. XIV Curso de Especialización: Avances en Nutrición y Alimentación Animal. FEDNA. España. pp: 141-158.
- Castro M. L., Martínez. M. J., y Gallego C. 2005. Una reseña corta sobre la influencia de la zeolita en las emisiones de N en porcicultura. Instituto de Investigaciones Porcinas.12 (3): 162.
- Castro M., Iglesias M. 1989. Efecto de la zeolita en dietas tradicionales para cerdos en ceba. Revista cubana de ciencia agrícola. 23 (2): 273-275.
- Castro M., Martínez M., Ayala L., Rodríguez Y., Savón L., Adrien E. y Castañeda J. 2008. Efecto de la zeolita natural en la prevención de problemas respiratorios en cerdos de preceba. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas 42 (2): 177-179.
- COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). 2017. Efectos a la salud por la contaminación del aire ambiente. En línea: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/3-efectos-a-la-salud-por-la-contaminacion-del-aire-ambiente>. Consultado: 3/01/2023.
- Collazos G. H. 2010. La aplicación de zeolita en la producción avícola: Revisión. Rev. de Investigación Agraria y Ambiental. 1(1):17-23.
- Coma J. and J. Bonet. 2004. Producción ganadera y contaminación ambiental. *In*: XX Curso de Especialización FEDNA: Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Rebollar C. de Blas y G.G. Mateos. Ed.: P.Gª. Barcelona. pp: 237-272.
- Danura S. 2020 requerimientos nutricionales plan de alimentación para lechones En línea <https://bmeditores.mx/porcicultura/requerimientos-nutricionales-plan-de-alimentacion-para-lechones/>. Consultado 15/junio/2023

- Durán R. C. F. y Durán N. J. 2007. Manual De Nutrición Animal. Agricultura y tecnologías relacionadas. 1ª. ed. Grupo Latino Editores. Bogotá Colombia. 900 p.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. En línea: <https://www.fao.org/3/i3437s/i3437s.pdf>. Consultado: 24/03/2023.
- FIRA (fidecomisos instituidos en relación con la agricultura). 2020. Panorama Agroalimentario Carne de cerdo 2020. En línea: [file:///C:/Users/oscar/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202020%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/oscar/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202020%20(4).pdf). Consultado: 01/12/2022.
- Fokas P. G., Zervas K., Fegeros P., Zoiopoulos. 2004. Assessment of Pb retention coefficient and nutrient utilization in growing pigs fed diets with added clinoptilolite. *Animal Feed Science and Technology*. 10 (117): 121-129.
- García M. J. y Pérez P. J. 2003. Materiales zeolíticos: síntesis, propiedades y aplicaciones. Textos docentes. Universidad de Alicante. España. 212 p
- GEOXNET (Geología-publicaciones). 2014. Zeolita. En línea: <https://post.geoxnet.com/zeolitas/> consultado: 15/05/2023.
- Gerardi M. H. 2002. Nitrification/denitrification in the activated sludge process. *Wastewater microbiology*. United States. En línea: https://media.wiley.com/product_data/excerpt/80/04710650/0471065080.pdf. Consultado: 15/02/2023.
- Hofman G. Cleemput V. O. 2004. Soil and Plant Nitrogen. Edición. Ifa - International Fertilizer Industry Association. Paris. 2-11 pp.
- Iagua (Gestión y el uso del agua). 2018. Eliminación del nitrógeno en las aguas residuales. En línea : <https://www.iagua.es/noticias/aema/eliminacion-nitrogeno-aguas-residuales>. Consultado: 16/06/2023.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2018. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. En línea:

<https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>. Consultado: 19/12/2022.

INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2018. Presenta INECC el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. En línea: <https://www.gob.mx/inecc/articulos/presenta-inecc-el-inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-1990-2019-284532?state=published>. Consultado: 18/06/2023.

INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2019. Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares. En línea: <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/>. Consultado: 18/06/2023.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica municipal. Ixtacamaxtitlán. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825293147>. Consultado: 17/03/2023.

INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). 2019. Sistemas de Producción Porcina. En línea: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/sistemas-de-produccion-porcina>. Consultado: 26/02/2023.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergubernamental Panel on Climate Change. En línea: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>. Consultado: 15/04/2023

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan. Vol 4. (10) pp: 87.

IQAir (Índice de Calidad del Aire). 2016. Amoniaco. En línea: <https://www.iqair.com/mx/newsroom/ammonia>. Consultado: 25/03/2023.

Lallés J., Bosi P., Hauke, S. 2007. El destete: un desafío para la fisiología intestinal. *Livestock Science* 108:82-93.

- Lefcourt A.M., Meisinger J.J. 2001. Effect of Adding Alum or Zeolite to Dairy Slurry on Ammonia Volatilization and Chemical Composition. *Journal of Dairy Science*. 84 (8): 1814-1821.
- Lobo R. F. (2003). Introduction to the Structural Chemistry of Zeolites. *Handbook of Zeolite Science and Technology*. Ed 1ª. Maecel Dekker, Inc. New York. 33p.
- Maldonado Y. 2020. Minerales y piedras preciosas zeolitas: propiedades, características y usos. En línea: <https://geologiaweb.com/minerales/zeolitas/>. Consultado: 5/15/2023.
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) 2017. Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y de fósforo. Porcino blanco. Madrid. En línea: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/ganaderia-y-medio-ambiente/baseszootecnicascalculonitrogenoyfosforomarzo2020_tcm30-440945.pdf. Consultado: 15/03/2023.
- Maqueda S. A y Alonso P. F. A. 2020. Breve reseña de la porcicultura de traspatio en México. BM editores. En línea: <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/breve-resena-de-la-porcicultura-de-traspatio-en-mexico/>. Consultado: 19/06/2023.
- Méndez A. B. 2012. Utilización de zeolita en la alimentación de cerdos, pollos de engorda y ovinos para disminuir la emisión de n al ambiente. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Subdirección de posgrado. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 24-43 pp.
- Montero L. E.M., Martínez G. R. G., Herradora L. M. A., Ramírez H. G., Espinosa H. S., Sánchez H. M., Martínez R. R. 2015. Alternativas para la producción porcina a pequeña escala. Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán. En línea: https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Alternativas_Porcina.pdf. Consultado: 25/02/2023.
- Moshoeshoe M., Nadiye-Tabbiruka M. S. & Obuseng V. 2017. A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites. *American Journal of Materials Science*. 7(5): 196-22.

- Nesic S., Grubic G., Adamovic M., Dorđevic N., Stojanovic B., Boickovic A. 2010. Uso de la zeolita como absorbente de la zearalenona en la nutrición de terneros. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44 (3): 227-232
- NRC (National Research Council). 2007. *Metabolic Modifiers: Effects on the Nutrient Requirements of Food-Producing Animals*. Edicion. ISBN. Washington, DC, USA. 96p.
- Parisini P., Martelli G., Sardi L., Escribano F. 1999. Protein and energy retention in pigs fed diets containing sepiolite. *Animal Feed Science and Technology*. 79 (1-2): 155-162.
- Pérez R. E. 1997. Porcicultura y medio ambiente. Memorias del segundo seminario sobre manejo y reciclaje de residuales porcinos. Consejo Mexicano de Porcicultura e Instituto de Investigaciones Económicas: UNAM. Querétaro, México. Pp: 10.
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). 2020 atención a Emergencias Químicas con presencia de Amoníaco. En línea: <https://www.gob.mx/profepa/articulos/atencion-a-emergencias-quimicas-con-presencia-de-amoniaco?idiom=es>. Consultado: 16/05/2023
- Rivera J., Losada H., Cortés J., Grande D., Vieyra J., Castillo A. y González R. O. 2007. Cerdos de traspatio como estrategia para aliviar pobreza en dos municipios conurbados al oriente de la Ciudad de México. *Pig trop*. Edicion. *Livestock Research for Rural Development* 19 (7): 12-16.
- Rosado T., Leidy C., Martínez G. R. y Ramírez H. G. 2018. Evaluación de los Parámetros Productivos en una Granja Porcina de Ciclo Completo a Pequeña Escala. En línea: <https://bmeditores.mx/porcicultura/evaluacion-de-los-parametros-productivos-en-unagranja-porcina-de-ciclo-completo-a-pequena-escala-1283/>. Consultado: 24/01/2023.
- Ruiz O., Y. Castillo, M. Miranda, A. Elías, C. Arzola, C. Rodríguez y O. Lao. 2007. Niveles de zeolita y sus efectos en indicadores de la fermentación ruminal en ovinos alimentados con heno de alfalfa y concentrado. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 41(3):253-257.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2023. Dictamen Diagnóstico Ambiental de la Actividad Porcícola de Yucatán. En línea:

<https://www.gob.mx/semarnat/documentos/dictamen-diagnostico-ambiental-de-la-actividad-porcicola-de-yucatan>. Consultado: 25/05/2023.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2021. Estudio para determinar el impacto económico de la PPC en México. En línea: https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2021/enero/An%C3%A1lisisSocioecon%C3%B3micoFPC_876a8d25-0d1b-4fa8-94e4-18d59e932257.pdf. Consultado: 1/03/2023.

Shurson G. C., Ku P. K., Miller E.R., Yokoyama M.T. 1984. Effects of zeolite a or clinoptilolite in diets of growing swine. American Society Animal Science 59 (6):1536-1545.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Bases estadísticas porcinas 2009-2019. En línea: http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_p.php. Consultado: 31/12/2023.

Snoek D. J., Stigter J. D., Ogink N. W y Groot-Koerkamp P. W. G. 2014. Sensitivity análisis of mechanistic models for estimating ammonia emisión from diary cow urine puddles. Biosystems Engineering 1021: 12-24.

Walter O. A. J. 2016. Analysis of factors affecting ammonia and methane emissions from pig slurries: slurry composition and dietary factors. Doctoral Thesis. Universitat politecnica de valencia. Department of Animal Science. España. pp: 10.



Oficio No. FCAyP/414/2023

Oscar Iván García Valencia
Egresado de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Con base en el dictamen emitido por el Dr. Numa Pompilio Castro González (**Director de Tesis**), Dr. Eutiquio Soní Guillermo (**Codirector**), Dr. Marcos Pérez Sato (**Asesor**) y Dr. Edgar Valencia Franco (**Asesor**) en su calidad de Consejo Particular, se autoriza la impresión de la tesis titulada:

“Consecuencia del uso de zeolita en dieta de cerdos sobre el medio ambiente”

Correspondiente a la Licenciatura en Ingeniería Agronómica y Zootecnia.

Sin otro particular por el momento, me despido reiterando a Usted mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

San Juan Acateno, Teziutlán, Pue., a 30 de Junio de 2023

Dr. Armando Ibáñez Martínez

Director de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias



c.c.p. - Archivo y Minutario
Dr. AIM/mlsm