

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE AGROPECUARIA



**EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE UN ANTIOXIDANTE METABÓLICO
EN CERDOS (*Sus scrofa domestica* L.) DURANTE LA ETAPA DE
ENGORDE, IBARRA-IMBABURA**

AUTORA:

Collaguazo Colimba Mariuxi Lizbeth

DIRECTOR:

MVZ. Bonifaz Aguinaga Francisco Xavier, MSc.

Ibarra, 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE UN ANTIOXIDANTE METABÓLICO EN CERDOS (*Sus scrofa domestica* L.) DURANTE LA ETAPA DE ENGORDE, IBARRA-IMBABURA

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

APROBADO:

MVZ. Bonifaz Aguinaga Francisco Xavier, MSc.


FIRMA

DIRECTOR

Ing. Telmo Fernando Basantes Vizcaino, MSc.


FIRMA

ASESOR

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

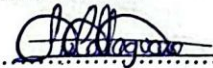
DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004818744
APELLIDOS Y NOMBRES:	Collaguazo Colimba Mariuxi Lizbeth
DIRECCIÓN:	San Antonio de Ibarra
EMAIL:	mlcollaguazoc@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0983032038
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Efecto de la inclusión de un antioxidante metabólico en cerdos (<i>Sus scrofa domestica</i> L.) durante la etapa de engorde, Ibarra-Imbabura
AUTORA:	Collaguazo Colimba Mariuxi Lizbeth
FECHA DE APROBACIÓN:	07 de septiembre del 2023
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria
DIRECTOR:	MVZ. Bonifaz Aguinaga Francisco Xavier, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de julio de 2025

EL AUTOR:


.....

Collaguazo Colimba Mariuxi Lizbeth

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Collaguazo Colimba Mariuxi Lizbeth, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 30 días del mes de julio del 2025

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Francisco Xavier', is written over a horizontal line.

MVZ. Bonifaz Aguinaga Francisco Xavier, MSc.

C.I.: 1715312334

DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 30 días del mes de julio del 2025

Mariuxi Lizbeth Collaguazo Colimba: EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE UN ANTIOXIDANTE METABÓLICO EN CERDOS (*Sus scrofa domestica* L.) DURANTE LA ETAPA DE ENGORDE, IBARRA-IMBABURA

Trabajo de titulación. Ingeniera Agropecuaria.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 30 días del mes de julio del 2025, 73 páginas.

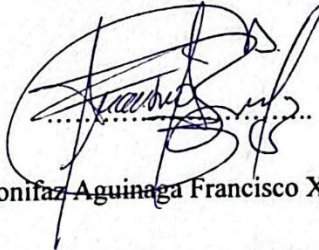
DIRECTOR (A): MVZ. Bonifaz Aguinaga Francisco Xavier, MSc.

El objetivo principal de la presente investigación fue:

- Evaluar el efecto de la inclusión de un antioxidante metabólico en cerdos (*Sus scrofa domestica* L.) durante la etapa de engorde, Ibarra-Imbabura

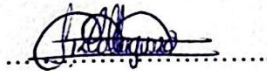
Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Determinar el efecto del antioxidante metabólico sobre los parámetros zootécnicos.
- Comparar el rendimiento a la canal en cerdos suplementados con un antioxidante metabólico.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.



MVZ. Bonifaz Aguinaga Francisco Xavier, MSc.

Director de Trabajo de Grado



Collaguazo Colimba Mariuxi Lizbeth

Autora

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al creador de todas las cosas, mi Dios, quien siempre me dio fuerzas para continuar, mostrándome que su tiempo es siempre perfecto.

A la Universidad Técnica del Norte, especialmente a la carrera de Agropecuaria, por ser un fundamento esencial en mi formación académica y personal.

Agradezco a cada uno de los docentes que, con dedicación y pasión, compartieron sus saberes y experiencias. En especial, al MVZ. Xavier Bonifaz MSc, por su invaluable orientación y paciencia.

Quiero manifestar mi profunda gratitud a mis padres. A mi padre, Edgar Collaguazo, que es mi constante inspiración, y a mi madre, Elena Colimba, por su amor incondicional.

A mis queridos tíos, gracias por su cariño y su apoyo, que muchas veces fue el refugio que necesitaba para no rendirme.

A mis amigos y compañeros, por todos los buenos momentos y las alegrías, se quedarán conmigo para siempre.

Y, por último, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me brindaron su apoyo. Cada gesto de ayuda y cada muestra de confianza fortalecieron mi camino, gracias de todo corazón

Lizbeth Collaguazo

DEDICATORIA

A la memoria de mi amado padre, mi guía eterno y el amor más importante de mi vida, siento tu mirada desde el cielo, llena de lágrimas y orgullo. Alcancé ese sueño que un día fue tuyo y, aunque tu ausencia dolió en cada paso, fue ese mismo dolor el que me dio la fuerza para seguir. Vives en mí, y tu legado es la fuerza que me acompaña.

A mi madre, la luz de mi vida, me enseñaste a no rendirme. Con tu amor sembraste en mi alma el valor de luchar y seguir adelante. Este logro es tan tuyo como mío.

A Lady, David y Gaby, mis queridos hermanos por ser mi refugio y mi alegría. Son parte de mi historia, de este logro y de todo lo que soy ahora.

A mis tíos Ana y Jaime, que han sido un pilar en mi vida, ustedes estuvieron ahí, dándome la mano sin necesidad de palabras. No fue fácil, pero con ustedes cerca, el camino fue menos duro.

A Salomé y Stefí, por acompañarme en este proceso, no solo me ofrecieron compañía y palabras de aliento, sino también su hogar, su mesa y su corazón. Me enseñaron que la amistad verdadera se siente en los gestos más simples. Este logro también es de ustedes.

Lizbeth Collaguazo

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Antecedentes	16
1.2 Problema	18
1.3 Justificación.....	19
1.4 Objetivos	20
<i>1.4.1 Objetivo General</i>	<i>20</i>
<i>1.4.2 Objetivos Específicos</i>	<i>20</i>
1.5 Hipótesis.....	20
<i>1.5.1 Hipótesis Alternativa.....</i>	<i>20</i>
<i>1.5.2 Hipótesis Nula.....</i>	<i>20</i>
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1 Origen y distribución del Cerdo (<i>Sus scrofa domestica L.</i>)	21
2.2 Anatomía y fisiología digestiva	22
<i>2.2.1 Boca.....</i>	<i>22</i>

2.2.2 Esófago.....	22
2.2.3 Estómago.....	23
2.2.4 Intestino delgado.....	23
2.2.5 Intestino grueso.....	24
2.3 Importancia de los parámetros productivos	24
2.3.1 Alimentación	26
2.4 Principales materias primas utilizadas en alimentos concentrados.....	26
2.5 Requerimientos nutricionales etapa de engorde.....	27
2.5.1 Proteína.....	28
2.5.2 Energía.....	28
2.5.3 Fibra.....	28
2.5.4 Grasa.....	29
2.5.5 Radicales libres y antioxidantes.....	30
2.5.6 Antioxidantes enzimáticos.....	30
2.5.7 Antioxidantes no enzimáticos.....	31
2.5.8 Efectos del estrés oxidativo a nivel celular.....	31
2.5.9 Restricción de antibióticos en la actualidad.....	32
2.6 Marco legal.....	33
CAPÍTULO III.....	35
MARCO METODOLÓGICO.....	35
3.1 Descripción del área de estudio.....	35
3.1.1 Ubicación del área de estudio.....	35
3.1.2 Características edafoclimáticas del área de estudio	36

3.2 Materiales	36
3.3 Métodos	36
3.3.1 Factor en estudio	37
3.3.2 Tratamientos	37
3.3.3 Diseño experimental	37
3.3.4 Características del experimento	38
3.3.5 Características de la unidad experimental.	38
3.4 Análisis estadístico	39
3.5 Variables evaluadas	39
3.5.1 Desperdicio de alimento	41
3.5.2 Ganancia de peso	41
3.5.3 Consumo de alimento	41
3.5.4 Conversión alimenticia	41
3.5.5 Ganancia de peso final	42
3.5.6 Longitud corporal	42
3.5.7 Rendimiento a la canal	42
3.5.8 Porcentaje de grasa dorsal	42
3.5.9 Análisis Económico	43
3.6 Manejo del Experimento	43
3.6.1 Preparación de infraestructura	45
3.6.2 Recepción de animales	45
3.6.3 Manejo Sanitario	45
3.6.4 Preparación del alimento concentrado	45

3.6.5 Preparación de dosificaciones	46
3.6.6 Alimentación	46
3.6.7 Recolección y análisis de datos.....	46
CAPÍTULO IV	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1 Desperdicio de alimento.....	47
4.2 Ganancia de peso.....	49
4.3 Consumo de alimento.....	51
4.4 Conversión alimenticia.....	53
4.5 Ganancia de peso final	56
4.6 Longitud corporal	57
4.7 Grasa dorsal.....	59
4.8 Rendimiento a la canal	60
4.9 Análisis Económico	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
Conclusiones	64
Recomendaciones.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema digestivo del cerdo	22
Figura 2 Corte transversal del Intestino delgado	24
Figura 3 Ubicación geográfica del área de estudio.....	35
Figura 4 DBCA aplicado en el presente estudio.....	38
Figura 5 Detalle de cada una de las unidades experimentales	39
Figura 6 Variables evaluadas en el experimento	40
Figura 7 Actividades desarrolladas durante el manejo del experimento	44
Figura 8 Desperdicio de alimento a lo largo de las semanas de evaluación.	48
Figura 9 Comportamiento de la ganancia en kg de peso a lo largo de las ocho semanas en cerdos.	49
Figura 10 Comportamiento del consumo de alimento durante el tiempo del experimento.	52
Figura 11 Conversión alimenticia de los tratamientos evaluados.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Recomendaciones de inclusión de grasa para concentrado de lechones y crecimiento-cebo.	29
Tabla 2 Características edafoclimáticas de la zona de Tanguarín	36
Tabla 3 Materiales, equipos y herramientas utilizados en la inclusión de un antioxidante metabólico en cerdos.....	36
Tabla 4 Tratamientos aplicados en el presente estudio.....	37
Tabla 5 Análisis de varianza (ADEVA-ANOVA) en unidades experimentales al azar	39
Tabla 6 Componentes del alimento concentrado preparado	46
Tabla 7 Análisis de la varianza para la variable desperdicio de alimento.	47
Tabla 8 ADEVA para la variable ganancia de peso.....	49
Tabla 9 ADEVA de la variable consumo de alimento.....	51
Tabla 10 Análisis de varianza de tratamientos y semanas de evaluación para la variable Conversión alimenticia.	53
Tabla 11 ADEVA para la variable ganancia de peso final	56
Tabla 12 Ganancia de peso final (Medias $\pm$ Error Estándar).....	56
Tabla 13 ADEVA de la variable Longitud Corporal	58
Tabla 14 Longitud corporal obtenida (Medias $\pm$ Error Estándar).....	58
Tabla 15 ADEVA de Grasa dorsal al finalizar las ocho semanas.....	59
Tabla 16 Grasa dorsal total obtenida (Media $\pm$ Error Estándar)	59
Tabla 17 Análisis de varianza de la variable Rendimiento a la canal.....	60

Tabla 18 Medidas de error estándar de la variable rendimiento a la canal	61
Tabla 19 Resumen análisis económico del ensayo	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	71
Anexo 2	71
Anexo 3	72
Anexo 4	72
Anexo 5	73
Anexo 6	73

EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE UN ANTIOXIDANTE METABÓLICO EN CERDOS (*Sus scrofa domestica* L.) DURANTE LA ETAPA DE ENGORDE, IBARRA-IMBABURA

Collaguazo Colimba Mariuxi Lizbeth

Universidad Técnica del Norte

mlcollaguazoc@utn.edu.ec

RESUMEN

En la presente investigación sobre efecto de la inclusión de un antioxidante metabólico en cerdos (*Sus scrofa domestica* L.) durante la etapa de engorde, Ibarra-Imbabura, se planteó como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de este; apoyándose en determinar el efecto del antioxidante metabólico sobre los parámetros zootécnicos; comparar el rendimiento a la canal en cerdos suplementados con un antioxidante metabólico y finalmente analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio. La investigación se desarrolló en Tanguarín, utilizando un diseño experimental en bloques completos al azar con 12 unidades experimentales; se evaluaron distintas dosis de un antioxidante metabólico en cerdos durante la etapa de engorde, analizando variables productivas, fisiológicas y económicas; los datos se procesaron mediante un análisis estadístico ADEVA con pruebas LSD al 5% utilizando el software INFOSTAT. Como resultado se obtuvo que el desperdicio de alimento y el consumo variaron entre semanas, pero no entre tratamientos, indicando que el tiempo influye más que la intervención. Concluyendo que el análisis de los resultados obtenidos en la etapa experimental permitió determinar que la adición de un antioxidante metabólico en concentraciones de 0.015 %, 0.020 % y 0.025 % no generó diferencias en los parámetros zootécnicos evaluados, lo que permite aceptar la hipótesis nula planteada en esta investigación. Para lo cual se recomienda realizar estudios complementarios bajo condiciones de estrés ambiental o sanitario controlado, para evaluar si la inclusión del antioxidante metabólico podría mostrar un mayor impacto positivo en el desempeño zootécnico de los animales.

Palabras claves: Porcinos, alimentación, metabolismo, carne, calidad.

EFFECT OF THE INCLUSION OF A METABOLIC ANTIOXIDANT IN PIGS (*Sus scrofa domestica* L.) DURING THE FATTENING STAGE, IBARRA-IMBABURA

Collaguazo Colimba Mariuxi Lizbeth

Universidad Técnica del Norte

mlcollaguazoc@utn.edu.ec

ABSTRACT

In this study, the effect of including a metabolic antioxidant in pigs (*Sus scrofa domestica* L.) during the fattening stage in Ibarra-Imbabura, the objective was to evaluate the effect of including this antioxidant; based on determining the effect of the metabolic antioxidant on zootechnical parameters; compare carcass yield in pigs supplemented with a metabolic antioxidant; and finally, analyze the economic results of the treatments studied. The research was developed in Tanguarín, using a randomized complete block experimental design with 12 experimental units. Different doses of a metabolic antioxidant were evaluated in pigs during the fattening stage, analyzing productive, physiological, and economic variables. Data were processed using ADEVA statistical analysis with 5% LSD tests using INFOSTAT software. As a result, it was found that feed waste and consumption varied between weeks, but not between treatments, indicating that time has a greater influence than the intervention. In conclusion, the analysis of the results obtained in the experimental stage determined that the addition of a metabolic antioxidant at concentrations of 0.015%, 0.020%, and 0.025% did not generate any differences in the evaluated zootechnical parameters, which allows us to accept the null hypothesis proposed in this research. Therefore, it is recommended to conduct complementary studies under controlled environmental or sanitary stress conditions to evaluate whether the inclusion of the metabolic antioxidant could have a greater positive impact on the animals' zootechnical performance.

Keywords: Swine, feed, metabolism, meat, quality.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la producción porcina, el crecimiento del animal es un proceso dinámico y en constante cambio; a medida que avanza el ciclo de producción, las raciones y el suministro de nutrientes esenciales como agua, proteínas, minerales y vitaminas deben ajustarse de manera equilibrada según la edad y el peso del cerdo (Chávez, 2022). Es importante regular cuidadosamente la energía que se le proporciona, ya que tanto un exceso como una deficiencia en la alimentación pueden impactar negativamente su desarrollo, afectando la eficiencia de conversión alimenticia y el crecimiento del animal.

El consumo de alimento en los cerdos es considerado el factor más crítico en la producción porcina, ya que no solo afecta su estado nutricional, sino también parámetros zootécnicos clave como la ganancia de peso (Moscoso y Trabanino, 2023). Además, la alimentación representa aproximadamente el 65% de los costos de producción, lo que resalta su impacto económico (De-Cara y Rey, 2021).

Por este motivo, es esencial identificar los requerimientos nutricionales específicos para cada etapa de desarrollo del cerdo, ajustando las dietas para garantizar un aporte equilibrado de nutrientes; también es importante conocer la composición del alimento para optimizar los rendimientos productivos y mantener la salud de los animales en óptimas condiciones (Sagaró y Ferrer, 2021).

Para asegurar una salud óptima y una producción eficiente en los cerdos, es esencial que su dieta cuente con un perfil nutricional adecuado, que considere tanto las características fisicoquímicas como la seguridad toxicológica de los alimentos (Montoya, 2023). Este método no solo asegura un producto de alta calidad para el cliente, sino que también salvaguarda la salud de los animales; las necesidades nutricionales deben ser calibradas meticulosamente en cada etapa del desarrollo, con límites mínimos y máximos fijados para prevenir tanto carencias como excesos que podrían afectar negativamente la salud y el rendimiento productivo de los cerdos.

La dieta de los cerdos se compone principalmente de macro ingredientes de uso variable como el maíz, trigo, y cereales, además de macro ingredientes con uso limitado como grasas, melaza, aceites y suero de leche (Pinzón y Hurtado, 2021). También incluye micro ingredientes esenciales que se administran en forma de premezclas vitamínicas, minerales, aditivos y antioxidantes. Estos micro ingredientes, elaborados por compañías especializadas, deben estar equilibrados para apoyar las funciones inmunológicas y fisiológicas del animal, promoviendo su crecimiento y ayudando a alcanzar los parámetros zootécnicos necesarios para un desarrollo óptimo (Wook et al., 2023).

A lo largo de las décadas, se han utilizado aditivos en la producción animal debido a su impacto positivo en los indicadores fisiológicos, productivos y de salud de los animales. Estos aditivos, tanto naturales como sintéticos, son sustancias no nutritivas que se incorporan a las raciones con el objetivo de modificar favorablemente las características físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales del alimento, mejorando así el desempeño animal, especialmente en términos de ganancia de peso y crecimiento (Baca y Ampuero, 2019).

En estudios recientes sobre el uso de aditivos en la producción porcina, se ha evidenciado una mejora en el comportamiento productivo de los cerdos, en un estudio llevado a cabo con un grupo de 30 cerdos que tenían alrededor de 30 días de vida, se notó que la aplicación de un complemento líquido de levaduras provenientes de manzanas condujo a aumentos significativos en el peso corporal, la eficiencia alimentaria y el aumento diario de peso. Esto sugiere que los aditivos pueden ser una alternativa efectiva para mejorar la producción de carne de cerdo (Díaz et al., 2022).

Asimismo, se ha encontrado que el uso de un antioxidante metabólico en cerdos en etapa de recría beneficia los índices zootécnicos, ya que los lechones alimentados con este suplemento ganaron más peso diariamente y mostraron una conversión alimenticia significativamente mejorada en comparación con los que no recibieron el tratamiento.

Además, varios estudios han explorado el uso de aditivos vegetales como alternativas naturales a los antioxidantes sintéticos. Los extractos naturales contienen compuestos bioactivos que actúan como potentes antioxidantes. Estos efectos de los aditivos vegetales son diferentes, pero comparables a los de la vitamina E sintética, lo que sugiere su potencial como antioxidantes naturales (Díaz et al., 2022).

El uso de antioxidantes no se limita únicamente a la producción porcina, sino que también se ha investigado su impacto en la nutrición avícola. Se ha demostrado que los aditivos naturales son una estrategia valiosa para reducir el estrés oxidativo en aves de corral, lo que tiene efectos positivos en el rendimiento del crecimiento. Sin embargo, es crucial determinar la dosis adecuada para evitar problemas relacionados con la digestibilidad del alimento (Wook et al., 2023).

Por otro lado, se ha estudiado la eficiencia económica y productiva de la suplementación con antioxidantes en cerdos durante la etapa de crecimiento. Los resultados indican que el uso de estos suplementos no solo incrementa el peso y la conversión alimenticia de los cerdos, sino que también mejora significativamente los parámetros productivos, para considerarlos como una opción.

1.2 Problema

En Ecuador, la cría de cerdos es una actividad altamente rentable para numerosas familias, generando alrededor de 80,000 empleos directos en todo el país (Chaguay, 2021). Desde 2017, se ha observado un aumento en el número de cerdas productoras, consolidando la porcicultura como una actividad económica viable (Wang et al., 2020). Sin embargo, se enfrenta el desafío del aumento en los precios de la materia prima y los insumos necesarios para la producción, además de la escasez de equipos adecuados que favorezcan la cría porcina.

Las fases de producción porcina exigen especificaciones cuidadosas para garantizar el desarrollo adecuado de los cerdos; la alimentación es primordial, porque no solo se trata de proporcionar alimento, sino de ofrecer condiciones y porciones óptimas que incluyan energía, vitaminas y minerales necesarios para la salud del animal. Para ello, se desarrollan aditivos naturales que benefician la fisiología del cerdo y previenen enfermedades que pueden amenazar su vida (Ionita, 2022).

Hace algunos años, la crianza de cerdos se llevaba a cabo en traspatios sin técnicas de manejo adecuadas; en estos entornos, los animales eran alimentados con residuos de alimentos, lo que contribuía a la aparición de enfermedades zoonóticas, como la triquinosis y la gripe porcina (Sagaró y Ferrer, 2021). Esta falta de prácticas adecuadas de nutrición y bioseguridad incrementaba significativamente la mortalidad en la población porcina.

En los animales de producción, se ha establecido una correlación clara entre la aparición de ciertas enfermedades y la disminución del estado antioxidante (Wang et al., 2020). El estrés oxidativo tiene una función fundamental en varios trastornos patológicos que impactan la salud, el bienestar y los indicadores de productividad de los animales (Chávez, 2022). En momentos específicos de producción, como el nacimiento y la alimentación con leche, así como en contextos de alteraciones ambientales, como el destete o cambios en la temperatura, los animales enfrentan tensiones que pueden resultar en una merma de su capacidad antioxidante; esta reducción, a su vez, trae consigo significativas pérdidas energéticas para el animal.

1.3 Justificación

Desde 2017, se ha observado un aumento en la producción de las granjas porcinas a nivel nacional, lo que ha permitido satisfacer la demanda del Ecuador en carne de cerdo; sin embargo, el crecimiento de esta demanda ha llevado a un incremento en el consumo, lo que ha impulsado la transición de métodos de producción tradicionales hacia prácticas más eficientes, especialmente en lo que respecta a la nutrición animal (Baca y Ampuero, 2019). Este enfoque no solo busca optimizar la producción, sino que también plantea la posibilidad de generar empleo y facilitar la exportación de carne de cerdo a otros países.

Caicedo et al. (2021), resalta la creciente comprensión sobre el impacto de los micronutrientes en el bienestar y desempeño de los animales, junto con la necesidad de usarlos eficientemente para optimizar tanto la producción como la rentabilidad económica. Los micronutrientes desempeñan un papel crucial en la producción animal, ya que participan en diversas rutas metabólicas, regulan el ciclo celular, fortalecen el sistema inmunológico, y modulan los procesos de replicación y diferenciación celular, además de contribuir a la integridad de los tejidos de recambio rápido.

Se han investigado diversas sustancias, tanto sintéticas como naturales, como antioxidantes potenciales para prevenir la oxidación de lípidos (Chávez, 2022). Sin embargo, debido a las crecientes preocupaciones de los consumidores sobre la seguridad y toxicidad de los aditivos sintéticos, se promueve una tendencia hacia la reducción de su uso.

En este contexto, la incorporación de aditivos naturales en la producción porcina se convierte en una estrategia clave para garantizar la soberanía alimentaria y optimizar la calidad del producto,

porque no solo mejoran el estado antioxidante y la salud animal, sino que también protegen los productos cárnicos contra la oxidación, incrementando así su valor nutricional y asegurando su calidad en el mercado (Sagaró y Ferrer, 2021).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la inclusión de un antioxidante metabólico en cerdos (*Sus scrofa domestica* L.) durante la etapa de engorde, Ibarra-Imbabura.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el efecto del antioxidante metabólico sobre los parámetros zootécnicos.
- Comparar el rendimiento a la canal en cerdos suplementados con un antioxidante metabólico.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis Alternativa

La inclusión de un antioxidante metabólico en la alimentación de cerdos influye en los parámetros zootécnicos.

1.5.2 Hipótesis Nula

La inclusión de un antioxidante metabólico en la alimentación de cerdos no influye los parámetros zootécnicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen y distribución del Cerdo (*Sus scrofa domestica* L.)

El cerdo doméstico (*Sus scrofa domestica* L.) es una especie de mamífero cuya cría y aprovechamiento por parte del ser humano se remonta a épocas prehistóricas; su domesticación deriva de los jabalíes salvajes (*Sus scrofa*), una especie ampliamente distribuida en diversas regiones del mundo (Infoagro, 2024). Se estima que el proceso de domesticación ocurrió hace aproximadamente 9.000 años en Asia Menor, dentro de la región conocida como el Creciente Fértil; en esta área, las primeras sociedades humanas comenzaron a explotar las características omnívoras y altamente adaptativas del jabalí, obteniendo de él importantes recursos alimentarios y materiales, como carne, piel y otros subproductos (Arsuaga y Algaba, 2020).

Ocampo (2019), indica que, a través de la selección artificial, los seres humanos comenzaron a reproducir jabalíes que presentaban características deseadas, como una mayor docilidad, un tamaño más grande y una mejor producción de carne y grasa. Con el tiempo, estos animales domesticados dieron origen a la especie de cerdo doméstico actual. A medida que las poblaciones humanas se expandieron, los cerdos fueron trasladados a diferentes regiones como una fuente fiable de alimento, siendo introducidos primero en Asia desde Europa y más tarde en América durante la colonización, consolidándose como un componente clave en la dieta humana.

A lo largo de los siglos, los cerdos han sido objeto de mejoramiento genético y selección para adaptarse a diversos entornos y satisfacer las necesidades específicas de las comunidades agrícolas, lo que ha dado lugar a numerosas razas y líneas genéticas, cada una adaptada a diferentes sistemas de producción y requisitos (Ordoñez, 2023).

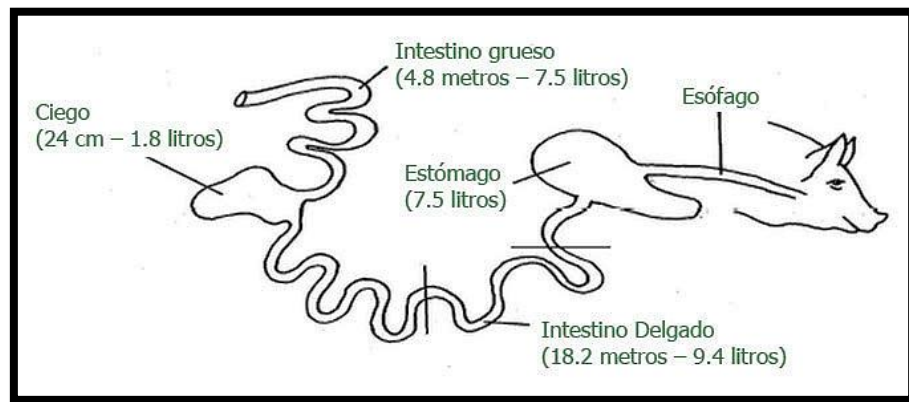
El cerdo actual es el resultado de un prolongado proceso de domesticación y selección artificial, cuyo origen se encuentra en los jabalíes salvajes domesticados por los humanos para aprovechar sus recursos alimentarios. Este proceso continúa hoy en día mediante la crianza y la investigación genética para mejorar sus características y rendimiento en sistemas agropecuarios (Ionita, 2022).

2.2 Anatomía y fisiología digestiva

El cerdo presenta una anatomía y fisiología intestinal altamente especializada, optimizada para la digestión y absorción eficiente de nutrientes. Su sistema digestivo está adaptado para procesar una amplia diversidad de alimentos, tanto de origen vegetal como animal, lo que permite una óptima eficiencia en la degradación y asimilación de nutrientes esenciales (Ledesma, 2020). La estructura completa se detalla en la Figura 1.

Figura 1

Sistema digestivo del cerdo



Fuente: Obtenido de (Chaguay, 2021)

2.2.1 Boca

La boca del cerdo presenta una dentición heterodonta, lo que significa que posee diferentes tipos de dientes especializados en diversas funciones; los molares y premolares están adaptados para triturar los alimentos, facilitando la reducción mecánica del tamaño de las partículas, mientras que los colmillos e incisivos son esenciales para cortar y desgarrar, cumpliendo un rol clave en el proceso inicial de masticación (Vera, 2024). Esta configuración dental contribuye a la eficiente digestión de una amplia variedad de alimentos, tanto vegetales como animales.

2.2.2 Esófago

Una vez que el alimento es masticado y mezclado con la saliva, pasa al esófago que se encarga de transportarlo hacia el estómago a través de movimientos peristálticos; el esófago de cerdo es un

tubo muscular que varía en color de rosa pálido a rojo oscuro, conecta la faringe con el estómago y tiene una longitud que puede oscilar entre 20 y 35 cm, según la especie del animal (Díaz et al., 2022).

2.2.3 Estómago

Después del esófago, la mezcla de alimentos ingresa al fundus, la parte principal y más grande del estómago; en esta región, el alimento es expuesto a los jugos gástricos que contienen ácido clorhídrico y enzimas digestivas, como la pepsina, que desempeñan un papel crucial en la descomposición de las proteínas (Cevallos, 2025). Esta etapa preliminar de la digestión señala el inicio de la descomposición de las proteínas para su eventual asimilación en el intestino.

2.2.4 Intestino delgado

El proceso digestivo continúa cuando el quimo, el alimento parcialmente digerido, se desplaza hacia la región pilórica del estómago, donde se segrega mucosidad antes de pasar al intestino delgado; este último se divide en tres secciones (Zuccolilli y Cambiaggi, 2023). El primero es el duodeno, que mide 12 pulgadas de largo, en el cual se realiza la mayor parte de la digestión y la asimilación de nutrientes. Este órgano se encuentra vinculado al páncreas, al hígado y también a la vesícula biliar, que liberan secreciones pancreáticas (insulina y glucagón) y biliares (sales biliares) (Zuccolilli y Cambiaggi, 2023).

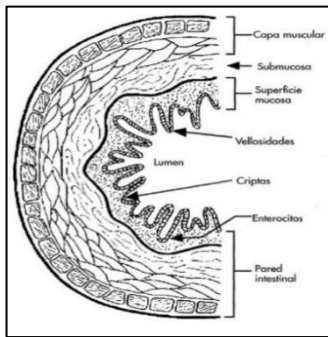
Estas secreciones aportan enzimas digestivas adicionales para la descomposición y absorción de carbohidratos, proteínas, grasas y vitaminas solubles; el contenido luego pasa al yeyuno, la parte media del intestino delgado, donde continúa la digestión y absorción de nutrientes, para finalmente llegar al íleon, la última sección del intestino, que comprende el borde cuticular (Guerrero, 2021). Los aminoácidos y los azúcares simples absorbidos en el intestino delgado son transportados directamente al hígado a través de la vena porta.

En contraste, las grasas dietarias, una vez descompuestas y absorbidas en el borde intestinal, ingresan al sistema linfático y se descargan en la circulación general mediante el conducto torácico (Armijos et al., 2022). Las vellosidades intestinales, presentes en la superficie interna del intestino delgado, incrementan significativamente la superficie de absorción. Estas estructuras están

recubiertas por enterocitos, células especializadas responsables de la absorción de nutrientes, que los transfieren hacia la corriente sanguínea a través de la pared intestinal (Figura 2).

Figura 2

Corte transversal del Intestino delgado



Fuente: (Duarte y Rodríguez, 2022)

2.2.5 Intestino grueso

El proceso digestivo continúa cuando el quimo llega al intestino grueso, donde se absorben agua y electrolitos, y se forman las heces. En los porcinos, este tracto intestinal es bastante extenso y presenta un ciego que está bien desarrollado, el cual lleva a cabo funciones de fermentación. En esta región, las bacterias simbióticas descomponen los componentes fibrosos y celulósicos del alimento, produciendo ácidos grasos de cadena corta que el cerdo utiliza como fuente de energía.

2.3 Importancia de los parámetros productivos

Los parámetros productivos son medidas cuantitativas que se utilizan para evaluar el desempeño de la producción porcina y son de vital importancia en la industria porcina, estos parámetros reflejan el rendimiento económico y la eficiencia productiva de los cerdos en diferentes etapas de su ciclo de vida, desde la cría hasta el engorde (Cevallos, 2025).

Uno de los parámetros más importantes en la producción porcina es la tasa de crecimiento diario (TCD), que representa el aumento promedio de peso de los cerdos por día; esta medida refleja la eficiencia en la conversión de alimento en peso corporal y está influenciada por factores genéticos, nutricionales y ambientales (Caicedo et al., 2021). La TCD es un indicador clave de la rentabilidad

en la producción, ya que un mayor crecimiento diario permite obtener más carne en menos tiempo, lo que se traduce en mayores ingresos para los productores.

Otro parámetro importante es la eficiencia de conversión alimenticia (ECA) que se define como la cantidad de alimento requerida para producir una unidad de peso vivo, con ello se entiende que una menor ECA indica una mejor eficiencia en la utilización de los nutrientes del alimento y, por lo tanto, un menor costo de producción por kilogramo de carne, este parámetro está influenciado por diversos factores, como la calidad de la dieta, la genética de los cerdos, las condiciones de manejo y el estado sanitario de los animales (Benítez, 2024).

La edad al sacrificio es un parámetro crucial en la producción porcina, porque determina el momento en que los cerdos alcanzan su peso óptimo para el sacrificio; esta medida influye directamente en la eficiencia productiva y la rentabilidad, porque extender el periodo de engorde puede generar mayores costos de alimentación y reducir la capacidad de alojamiento (Cevallos, 2025). Por otro lado, un sacrificio prematuro puede resultar en cerdos subdesarrollados, lo que conlleva un menor rendimiento en la producción de carne.

La conversión de alimento (TCA) es un indicador fundamental para analizar la eficacia en el consumo de alimento en los cerdos, dado que establece la relación entre la porción de alimento ingerido y el aumento de peso corporal obtenido (Mejía et al., 2024). Una TCA baja indica una conversión más efectiva de alimento en peso corporal, lo que es deseable para maximizar la rentabilidad de la producción. Los principales factores que afectan la conversión alimentaria incluyen la genética, la temperatura, el desperdicio de alimento, así como la energía y aminoácidos disponibles; también se deben considerar aspectos como la mortalidad, las enfermedades, la disponibilidad de agua y alimento, y factores adicionales como el tamaño de las partículas y la presentación del alimento (Guerrero, 2021).

En adición a lo expresado, es fundamental tener en cuenta otros indicadores productivos, tales como la mortalidad, la ganancia de peso durante la lactancia, la edad al destete y el porcentaje de lechones destetados por cerdo; estas métricas son esenciales para evaluar la salud y el rendimiento reproductivo del hato porcino (Arsuaga y Algaba, 2020).

2.3.1 Alimentación

Para garantizar un crecimiento, desarrollo y salud óptimos en los cerdos, es crucial considerar la alimentación como un parámetro fundamental. Al ser animales que se alimentan de diversas fuentes, los cerdos tienen la capacidad de ingerir tanto productos de origen vegetal como de origen animal. Su sistema digestivo está adaptado para aprovechar una amplia variedad de nutrientes, lo que les permite obtener energía de manera eficiente.

En la fase de desarrollo de los lechones, los porcinos se sustentan mayormente de la leche de su madre, que les ofrece los nutrientes vitales para su primer crecimiento; conforme van madurando, se va incorporando lentamente la comida sólida, que generalmente consiste en una mezcla de cereales y proteínas de origen vegetal, como maíz, trigo, soja y otros subproductos de la industria alimentaria (Vernaza et al., 2023). Con el crecimiento y la transición a la etapa de engorde, las necesidades nutricionales de los cerdos cambian, requiriendo una dieta equilibrada y de alta calidad que contenga nutrientes esenciales en las cantidades adecuadas (Ionita, 2022).

Es esencial que se supervise y ajuste la alimentación de los cerdos con atención para evitar tanto la falta como el exceso de nutrientes; esto se consigue mediante el análisis y la revisión constante de la calidad de los alimentos, además de controlar el consumo y el desarrollo de los cerdos (Naranjo, 2021). Una dieta equilibrada y apropiada no solo influye en la eficacia y la productividad en la conversión de alimentos, sino que también es fundamental para la salud y el bienestar integral de los animales.

2.4 Principales materias primas utilizadas en alimentos concentrados

Dado que los cerdos necesitan una alimentación equilibrada en función de su etapa de crecimiento, se utilizan frecuentemente suplementos alimenticios o concentrados para mejorar los parámetros de producción (De-Cara y Rey, 2021). Así, la formulación de un concentrado para alimentar cerdos implica la incorporación de diversas materias primas que suministren los nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Estas materias primas pueden ser de origen tanto vegetal como animal, y es vital seleccionar y combinar adecuadamente estos ingredientes para garantizar una alimentación balanceada y de calidad.

2.5 Requerimientos nutricionales etapa de engorde

Durante la etapa de engorde, los requerimientos nutricionales de los cerdos son fundamentales para alcanzar un crecimiento óptimo y eficiente. En esta fase, los animales experimentan un incremento considerable en tamaño y acumulación de tejido muscular y graso, lo que hace esencial proporcionar una alimentación adecuada que cubra sus necesidades nutricionales.

Es primordial ofrecer una dieta que proporcione una cantidad adecuada de calorías para satisfacer las demandas metabólicas de los cerdos durante la fase de engorde. Para lograrlo, se suelen emplear ingredientes ricos en carbohidratos y grasas, que actúan como fuentes concentradas de energía, tales como cereales y subproductos oleaginosos (Duarte y Rodríguez, 2022).

Es esencial proporcionar un suministro adecuado de proteínas para mantener un equilibrio positivo de nitrógeno y favorecer el crecimiento muscular en los cerdos; en este sentido, es recomendable considerar alternativas viables que incluyan dietas con baja proteína bruta (DBP) complementadas con aminoácidos (como L-lisina. HCl, DL-metionina, L-treonina y L-triptófano), lo que ayuda a reducir la excreción de nitrógeno en heces y orina (Quintana et al., 2021).

Las fuentes proteicas comunes abarcan subproductos de la industria de procesamiento de alimentos, tales como harinas de carne y hueso, harina de pescado, leguminosas como la soja y alfalfa, así como subproductos de la industria láctea, como el suero de leche (Díaz et al., 2022). Los animales necesitan la aportación de aminoácidos (AA) individuales para sintetizar todos sus componentes proteicos, los cuales se generan mediante reacciones metabólicas que combinan más de 20 AA. Durante la digestión, las proteínas dietéticas son hidrolizadas (descompuestas) en AA, que posteriormente son absorbidos. A nivel celular, estos AA se incorporan para formar nuevas proteínas con diversas funciones, como la generación de proteína muscular, enzimas y hormonas proteicas (Duarte y Rodríguez, 2022).

Las aves y los cerdos, al ser especies no rumiantes, necesitan la entrega de aminoácidos esenciales (esos que el organismo no puede producir) para cumplir de manera adecuada con sus funciones de mantenimiento y producción. Aunque una fuente proteica puede contener una cantidad significativa de AA, la calidad de estos está determinada por su disponibilidad para ser incorporados y metabolizados por el organismo (Benítez, 2024).

En cuanto a los micronutrientes, se incluyen vitaminas, minerales y oligoelementos. Las vitaminas del complejo B, la vitamina E y la vitamina A son fundamentales para el metabolismo y el adecuado crecimiento de los tejidos. Los minerales como el calcio, fósforo y magnesio son necesarios para la formación de huesos y tejidos estructurales, mientras que los oligoelementos como zinc, cobre y hierro desempeñan un papel vital en los procesos enzimáticos y metabólicos (Baca y Ampuero, 2019).

Es importante destacar que los requerimientos nutricionales en la etapa de engorde pueden variar según la especie animal y las condiciones específicas de crianza, por lo tanto, es esencial realizar un análisis detallado de las necesidades nutricionales de cada especie y ajustar la dieta en consecuencia, buscando el equilibrio adecuado de nutrientes para maximizar el rendimiento productivo y el bienestar animal.

2.5.1 Proteína

Las proteínas vegetales, como las de soja, girasol, algodón y canola, son ricas en aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo muscular de los cerdos. Estas proteínas pueden ser empleadas en forma de harinas o pellets derivados de granos oleaginosos. En particular, la soja es reconocida como una fuente de proteína de alta calidad y es ampliamente utilizada en la alimentación porcina (Montoya, 2023).

2.5.2 Energía

Los cereales, como el maíz, el trigo, la cebada y el sorgo, constituyen fuentes significativas de carbohidratos y energía en la dieta de los cerdos; durante la etapa de engorde, los cerdos requieren una dieta alta en energía para fomentar un crecimiento óptimo; aunque el nivel de energía recomendado puede variar, generalmente se sitúa entre 3 200 y 3 500 kcal/kg de alimento (Pinzón y Hurtado, 2021).

2.5.3 Fibra

Aunque los cerdos son principalmente animales monogástricos y omnívoros, su tracto gastrointestinal tiene la capacidad de fermentar la fibra dietética, lo que les permite obtener beneficios significativos a partir de su consumo. La inclusión de fibra en la alimentación de cerdos

de engorde generalmente se realiza en niveles bajos, debido a que su principal objetivo nutricional es maximizar el crecimiento y la eficiencia de conversión alimenticia. En cerdos de engorde, se recomienda que el contenido de fibra en la dieta esté en un rango aproximado de 2% a 6% (López, 2020).

2.5.4 Grasa

Las grasas y aceites son fuentes concentradas de energía en la dieta de los cerdos, estos componentes provienen de diferentes fuentes como el aceite de soja, el aceite de palma, La grasa de origen animal y diversos aceites de origen vegetal permiten ofrecer ácidos grasos vitales y ayudan a potenciar el sabor y la facilidad de digestión de los alimentos (Chaguay, 2021).

Por otro lado, se considera que la grasa es un nutriente esencial en los piensos para cerdos durante las distintas etapas de crecimiento y engorde. Incluir este componente en el concentrado alimenticio responde a las necesidades nutricionales específicas del ganado porcino, y se recomienda que su contenido varíe entre el 3% y el 9%, dependiendo del estado fisiológico y la edad del cerdo (Chávez, 2022). (Tabla 1).

Tabla 1

Recomendaciones de inclusión de grasa para concentrado de lechones y crecimiento-cebo.

Estado	Peso	% de grasa
Lechones	5-7 kg	5-9
	7-12 kg	5-8.2
	12-22 kg	5-8
Crecimiento cebo		4-7
	Adaptación al cebo	
	20-60 kg	4-8
	6-100 kg	3-9
	> 100 kg	3-9

Fuente: (Chaguay, 2021)

Para la alimentación animal que incluye grasa, se opta preferentemente por incluir las de origen vegetal para garantizar la seguridad alimentaria, se utilizan comúnmente oleínas de soja y girasol que están compuestas por ácidos grasos y triglicéridos caracterizados por ser de digestibilidad inferior a comparación de los aceites, dado que poseen mayor cantidad de ácidos grasos libres.

2.5.5 Radicales libres y antioxidantes

Los radicales libres son moléculas inestables y altamente reactivas que se generan de manera natural durante los procesos metabólicos normales del organismo; sin embargo, en situaciones de estrés, como el ejercicio intenso, la exposición a toxinas o infecciones, la producción de estas moléculas puede incrementarse considerablemente (Hurtado, 2024). Los radicales libres pueden dañar las células al robar electrones de otras moléculas, lo que provoca una reacción en cadena perjudicial conocida como estrés oxidativo; este fenómeno puede afectar las membranas celulares, el ADN y las proteínas, contribuyendo así al deterioro del sistema inmunológico y al envejecimiento prematuro de los tejidos.

En los cerdos, el estrés oxidativo puede ocasionar una reducción en el rendimiento productivo, una mayor susceptibilidad a enfermedades y una disminución en la calidad de la carne; en este contexto, los antioxidantes desempeñan un papel crucial, porque son compuestos capaces de neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño oxidativo (Benítez, 2024). Estos antioxidantes pueden originarse de fuentes externas, como la alimentación, o ser sintetizados internamente por el organismo.

Duarte y Rodríguez (2022), señalan que la inclusión de antioxidantes en la alimentación de los cerdos es esencial para contrarrestar el estrés oxidativo y mantener un equilibrio redox adecuado en el organismo, algunos antioxidantes comunes utilizados en la alimentación porcina incluyen la vitamina E, la vitamina C, los carotenoides, los polifenoles y los minerales como el selenio y el zinc; la vitamina E es uno de los antioxidantes más efectivos en los cerdos, ya que protege las membranas celulares de los lípidos y otros compuestos liposolubles contra la oxidación. Además, la vitamina E trabaja en sinergia con el selenio, otro mineral con propiedades antioxidantes, para mejorar la respuesta inmunitaria y reducir el estrés oxidativo.

2.5.6 Antioxidantes enzimáticos

Los antioxidantes enzimáticos son enzimas endógenas que el cuerpo de los cerdos (y otros organismos) producen para combatir el estrés oxidativo y neutralizar los radicales libres; estas enzimas desempeñan un papel crucial en la protección de las células contra el daño oxidativo y ayudan a mantener un equilibrio redox adecuado en el organismo (Zuccolilli y Cambiaggi, 2023).

2.5.7 Antioxidantes no enzimáticos

Existen varios antioxidantes no enzimáticos que se pueden utilizar en la alimentación de cerdos para ayudar a contrarrestar el estrés oxidativo; estos antioxidantes pueden proteger las células de los cerdos en contra de los impactos nocivos de las especies reactivas de oxígeno (ERO) y ayudar a sostener un balance redox apropiado (Zuccolilli y Cambiaggi, 2023).

a) Vitamina E

La vitamina E es un antioxidante liposoluble que protege las membranas celulares y lipoproteínas contra la oxidación; es especialmente importante para proteger los ácidos grasos insaturados presentes en las membranas celulares; la suplementación con vitamina E en la dieta de los cerdos puede ayudar a prevenir el daño oxidativo en las células (Pinzón y Hurtado, 2021).

b) Vitamina C

La vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, es un antioxidante hidrosoluble que puede regenerar la vitamina E oxidada; además, tiene propiedades antioxidantes propias y puede proteger a las células de los cerdos contra el estrés oxidativo (Wook et al., 2023).

2.5.8 Efectos del estrés oxidativo a nivel celular

El estrés oxidativo se define como un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y la capacidad del sistema antioxidante para neutralizarlas; este desbalance puede generar daños significativos a las biomoléculas celulares, afectando tanto la integridad estructural de las células, como su funcionalidad (Díaz et al., 2022).

A nivel celular, el daño oxidativo puede comprometer la membrana celular, alterando su permeabilidad y viabilidad, así como interferir en procesos metabólicos y fisiológicos esenciales, lo que incrementa la susceptibilidad a enfermedades y disminuye el rendimiento productivo en los cerdos (Díaz et al., 2022).

a) Daños al ADN

Las Especies reactivas de oxígeno (ERO) pueden causar daño directo al ADN de las células por oxidación de las bases nitrogenadas. Este daño puede interferir con la replicación y transcripción del ADN, lo que afecta la integridad genética y puede conducir a mutaciones (Wang et al., 2020).

b) Disfunción mitocondrial

Las mitocondrias son los orgánulos encargados de la producción de energía en las células; el estrés oxidativo puede dañar las mitocondrias y afectar su función, lo que resulta en una disminución de la producción de energía y un aumento de la generación de ERO (Sagaró y Ferrer, 2021).

c) Daños a la membrana celular

Los ERO son capaces de oxidar los lípidos de las membranas celulares, lo que impacta su integridad y permeabilidad. Esto puede poner en riesgo la función celular y modificar los mecanismos de transporte de sustancias hacia dentro y fuera de las células (López, 2020).

d) Disfunción celular

El estrés oxidativo puede alterar la función normal de las células, como la producción de enzimas y proteínas, la regulación del metabolismo y la señalización celular, esto puede tener efectos negativos en la salud y el rendimiento de los cerdos (Quintana et al., 2021).

2.5.9 Restricción de antibióticos en la actualidad

En la actualidad, se nota un aumento en la inquietud global respecto al uso inapropiado y excesivo de antibióticos en la cría de animales, incluyendo la crianza de cerdos, esta inquietud se fundamenta principalmente en la aparición y propagación de la resistencia a los antibióticos, lo que pone en riesgo la eficacia de estos medicamentos no solo en el tratamiento de infecciones en animales, sino también en la salud humana (Quintana et al., 2021).

a) Antibióticos como aditivos alimentarios

Algunos países han prohibido o restringido el uso de ciertos antibióticos como aditivos alimentarios para cerdos; históricamente, estos aditivos se han utilizado en pequeñas dosis para

aumentar el crecimiento animal y mejorar la eficiencia alimenticia. Sin embargo, su uso está limitado debido al riesgo potencial de resistencia bacteriana y la necesidad de encontrar una alternativa más sostenible (Baca y Ampuero, 2019).

b) Dieta en base a productos naturales

Debido a la creciente restricción en el uso de antibióticos como promotores de crecimiento en la alimentación animal, la industria porcina ha incrementado el uso de piensos formulados con aditivos de origen natural (Chávez, 2022). Estos aditivos incluyen una amplia gama de compuestos derivados de fuentes vegetales y minerales, los cuales se emplean por sus propiedades inmunomoduladores, antimicrobianas y antioxidantes. Dichos compuestos tienen el potencial de mejorar la salud intestinal, optimizar la absorción de nutrientes y promover el rendimiento productivo, presentándose como una alternativa viable y segura frente al uso de antibióticos (De-Cara y Rey, 2021).

c) Extractos vegetales

Los extractos de plantas, como los aceites esenciales y otros compuestos derivados de hierbas, poseen propiedades antibacterianas y antioxidantes; entre las hierbas frecuentemente utilizadas en la dieta porcina se encuentran el orégano, la menta, el ajo y la canela. Estos aditivos naturales ayudan a preservar la salud del sistema digestivo, aumentan el atractivo de los alimentos balanceados y ofrecen propiedades antioxidantes, favoreciendo así el bienestar general y el rendimiento productivo de los animales (Pinzón y Hurtado, 2021).

2.6 Marco legal

Es relevante mencionar que la presente investigación tiene bases legales referentes a la Constitución de la República, mismas que manifiestan; en el artículo 387 promover el desarrollo de la ciencia y la tecnología, garantizando la libertad de investigación y su aplicación en beneficio del sector productivo y la sociedad (Asamblea Nacional, 2021). Además, el artículo 281 establece que el Estado debe asegurar la producción sostenible de alimentos sanos y proteger la salud de la población, promoviendo prácticas que fortalezcan la soberanía alimentaria (Asamblea Nacional, 2021).

En cuanto al bienestar animal, el artículo 71 reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos, lo que implica la protección de los ciclos vitales de los seres vivos, incluyendo a los animales, garantizando su manejo responsable en cualquier actividad productiva o investigativa (Asamblea Nacional, 2021).

Por lo tanto, esta investigación se enmarca en estos principios constitucionales, asegurando un enfoque ético en el manejo de los cerdos, el cumplimiento de la normativa de soberanía alimentaria y la implementación de métodos sostenibles para la cría de ganado.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

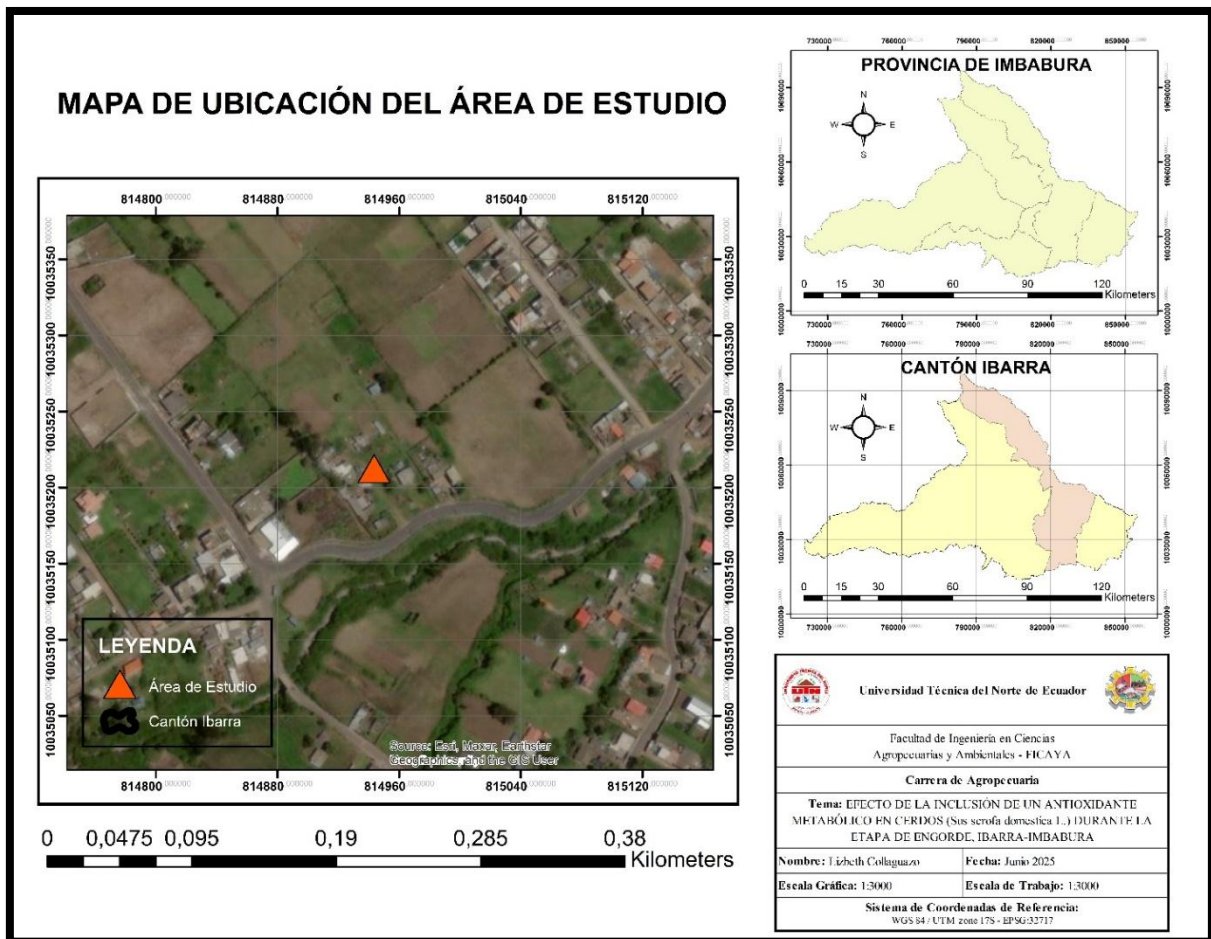
3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la localidad de Tanguarín, situada en la parroquia de San Antonio, perteneciente al cantón Ibarra, en la provincia de Imbabura (Figura 3).

Figura 3

Ubicación geográfica del área de estudio



Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 2019)

3.1.2 Características edafoclimáticas del área de estudio

La zona en la cual se llevó a cabo el experimento comprende las siguientes características agroclimáticas, resumidas en la Tabla 2.

Tabla 2

Características edafoclimáticas de la zona de Tanguarín

Ubicación del área de estudio	Descripción
Provincia	Imbabura
Cantón	Ibarra
Parroquia	San Antonio
Lugar	Tanguarín
Altitud	2120 m.s.n.m - 2225 m.s.n.m
Temperatura media anual	12°C - 18°C
Humedad relativa	73.3%

3.2 Materiales

A continuación, se detallan los materiales, equipos, insumos y herramientas que fueron empleados en el desarrollo integral del experimento (Tabla 3).

Tabla 3

Materiales, equipos y herramientas utilizados en la inclusión de un antioxidante metabólico en cerdos.

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas
Corrales	Balanza	Antioxidante metabólico	Escoba
Comederos	Calibrador o vernier	Balanceado realizado	Pala
Bebedores automáticos	Calculadora		
Cerdos	Laptop	Cal	Carretilla
Equipo Sanitario	Ficha de registro		

3.3 Métodos

La investigación fue un estudio experimental de campo, cuyo propósito fue evaluar el efecto del antioxidante metabólico en cerdos durante la etapa de engorde mediante la aplicación de distintas dosis.

3.3.1 Factor en estudio

El principal factor estudiado fueron las diferentes dosis de antioxidante metabólico aplicado en el concentrado, de modo que:

- **F1:** Sin presencia de antioxidante metabólico.
- **F2:** 15g/kg.
- **F3:** 20g/kg.
- **F4:** 25g/kg.

3.3.2 Tratamientos

Los tratamientos designados para el presente ensayo fueron aplicados según lo descrito en la Tabla 4.

Tabla 4

Tratamientos aplicados en el presente estudio

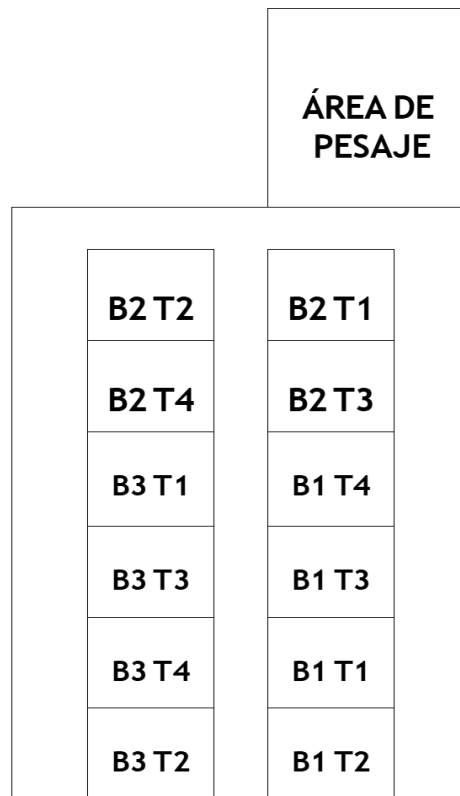
Tratamiento	Descripción
T1	Testigo absoluto (Alimento concentrado)
T2	15g/100kg Antioxidante Metabólico + Alimento concentrado
T3	20g/100kg Antioxidante Metabólico + Alimento concentrado
T4	25g/100kg Antioxidante Metabólico + Alimento concentrado

3.3.3 Diseño experimental

El presente ensayo hizo uso de un diseño en bloques completos al azar (DBCA), mismo en el que en cada uno de los 3 bloques, se encuentran presentes los 4 diferentes tratamientos propuestos (Figura 4).

Figura 4

DBCA aplicado en el presente estudio



3.3.4 Características del experimento

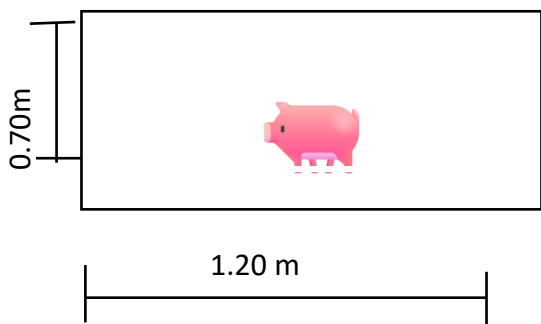
El ensayo se realizó utilizando un diseño experimental que incluyó 3 bloques y 4 tratamientos, lo que dio lugar a un total de 12 unidades experimentales. El área total asignada para el experimento fue de 20 m², distribuyendo de manera uniforme las unidades y tratamientos para asegurar la validez de los resultados.

3.3.5 Características de la unidad experimental.

Las unidades experimentales tuvieron dimensiones de 0.70 m x 1.20 m, y el área total del experimento fue 0.84 m² por cada uno de los bloques; esta disposición permitió una adecuada organización de los tratamientos dentro del espacio disponible, facilitando el análisis de los resultados obtenidos (Figura 5).

Figura 5

Detalle de cada una de las unidades experimentales



3.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un ADEVA utilizando pruebas de medidas LSD de Fisher al 5%, siempre que se respeten los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Para ello, se aplicó el software INFOSTAT.

Tabla 5

Análisis de varianza (ADEVA-ANOVA) en unidades experimentales al azar

Fuentes de variación	Grados de libertad
Bloques	$(3 - 1) = 2$
Dosis 1	$(4 - 1) = 3$
Error	$(4 - 1)(3 - 1) = 5$
Total	$(4)(3) - 1 = 11$

3.5 Variables evaluadas

Para evaluar de manera integral el impacto de los tratamientos aplicados en el desempeño productivo y económico de los animales, se estableció un conjunto de variables zootécnicas, fisiológicas y financieras. Estas variables permitieron cuantificar aspectos clave como el consumo y desperdicio de alimento, la ganancia de peso, la conversión alimenticia, así como indicadores morfométricos y económicos relevantes para la producción porcina. La recolección sistemática de los datos, basada en metodologías estandarizadas y referenciadas por distintos autores, garantizó la objetividad del análisis. A continuación, se describen las variables evaluadas y los procedimientos utilizados para su cálculo e interpretación:

Figura 6

Variables evaluadas en el experimento



Nota. Las variables evaluadas durante la experimentación son: A) Desperdicio de alimento; B) Ganancia de peso; C) Consumo de alimento; D) Conversión alimenticia; E) Ganancia de peso final; F) Longitud corporal; G) Rendimiento a la canal; H) Grasa dorsal; I) Beneficio costo.

3.5.1 Desperdicio de alimento

Se recolectaron los desperdicios de cada animal de los diferentes bloques y tratamientos en fundas separadas. Al final de la semana, los desperdicios se dejaron secar para obtener un total de desperdicio por animal. Para el análisis, se consideró el peso del alimento ofrecido en kilogramos y el peso del alimento consumido en kilogramos (León, 2018). Aplicado en la siguiente fórmula (Ecuación 1):

$$\text{Desperdicio} = \text{Alimento ofrecido (kg)} - \text{Residuo de alimento (kg)} \quad (1)$$

3.5.2 Ganancia de peso

El peso de los animales se midió semanalmente utilizando una balanza digital; la ganancia de peso se calculó restando el peso inicial al peso final (Wang et al., 2020). Aplicando la siguiente fórmula (Ecuación 2):

$$\text{Ganancia de peso (g)} = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)} \quad (2)$$

3.5.3 Consumo de alimento

La ingesta del alimento se determinó al anotar el peso del alimento proporcionado en kilogramos y sustrayéndolo de la cantidad de sobrante (De-Cara y Rey, 2021). Este análisis permitió evaluar la eficiencia en la alimentación de los animales, al contrastar la cantidad de alimento suministrado con el volumen de desperdicio generado. Aplicando la siguiente fórmula (Ecuación 3):

$$\text{Consumo de alimento (kg)} = \text{Alimento ofrecido (kg)} - \text{Desperdicio (kg)} \quad (3)$$

3.5.4 Conversión alimenticia

Para calcular la conversión alimenticia, se tomaron como base los registros de aumento de peso de cada uno de los animales y la cantidad de alimento que consumieron (Duarte y Rodríguez, 2022). El cálculo de la conversión alimenticia se realizó una vez finalizado el ensayo. Para este cálculo, se hizo uso de la siguiente fórmula (Ecuación 4):

$$\text{Conversión alimenticia} = \frac{\text{Alimento consumido (kg)}}{\text{Ganancia de peso (kg)}} \quad (4)$$

3.5.5 Ganancia de peso final

De manera similar a la ganancia de peso semanal, se aplicó la fórmula mencionada anteriormente. Sin embargo, en este caso se comparó el peso inicial del cerdo con el peso registrado en la última medición realizada utilizando la balanza (Reyes, 2018). Este enfoque permitió evaluar de manera efectiva la ganancia de peso del animal a lo largo del ensayo. Para este cálculo, se hizo uso de la siguiente fórmula (Ecuación 5):

$$\text{Ganancia de peso total (kg)} = \text{Peso final (kg)} - \text{Peso inicial (kg)} \quad (5)$$

3.5.6 Longitud corporal

La longitud corporal se determinó midiendo la distancia desde la base de la nuca hasta el nacimiento de la cola (Benítez et al., 2015). Las mediciones en (cm), se realizaron con precisión para asegurar la fiabilidad de los datos.

3.5.7 Rendimiento a la canal

Al concluir el ensayo, se evaluará el desempeño de la canal. Para ello, se registrará inicialmente el peso vivo de cada cerdo y, posteriormente, el peso una vez faenado, asegurando que no se incluya el peso de vísceras ni pelo (Díaz et al., 2022). Para calcular el rendimiento de la canal, se utilizará la siguiente fórmula (Ecuación 6):

$$\text{Rendimiento a la canal} = \frac{\text{Peso a la canal(kg)}}{\text{Peso vivo del cerdo(kg)}} \times 100 \quad (6)$$

3.5.8 Porcentaje de grasa dorsal

La grasa en la parte posterior se evaluó con un calibrador de pie de rey, tomando medidas a lo largo de la línea central de la espalda, justo por encima de las costillas finales del cerdo. Esta evaluación se llevó a cabo entre la última costilla y la penúltima, a una distancia de 5 cm de la columna vertebral (Chávez, 2022). Esta técnica permitió obtener datos precisos sobre la cantidad de grasa dorsal presente en el animal.

3.5.9 Análisis Económico

Se creó una matriz en Microsoft Excel para introducir todos los costos asociados a la producción en el presente experimento, desglosando los costos directos e indirectos con el objetivo de determinar el costo real de producción por cada tratamiento. Posteriormente, los costos de producción de cada tratamiento se compararon con las ganancias potenciales al final del estudio, basándose en los rendimientos obtenidos (Reyes, 2018). Para esta evaluación, se utilizó la fórmula (Ecuación 7):

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Ingresos totales}}{\text{Ganancias totales}} \quad (7)$$

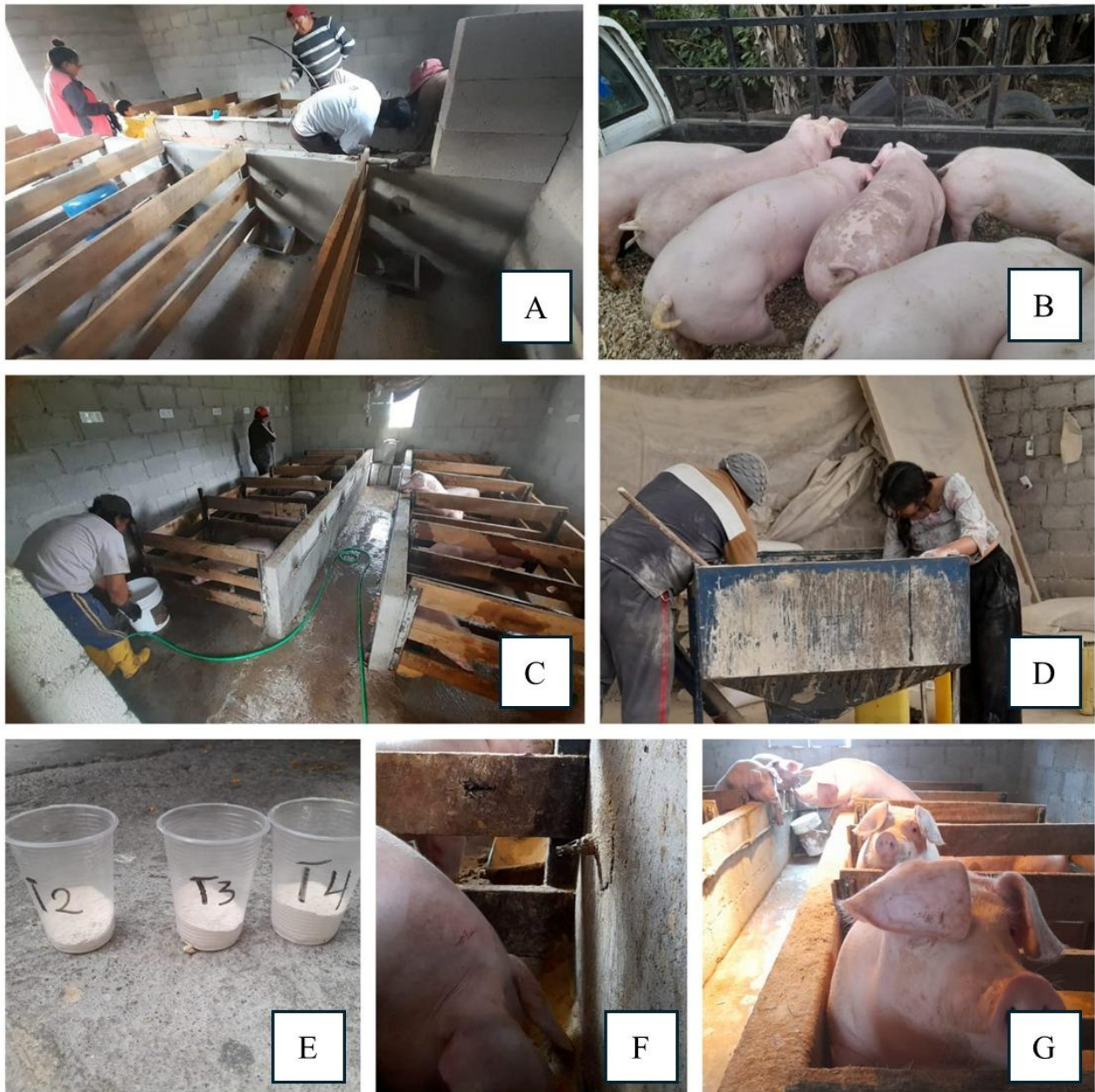
Esta fórmula permitió determinar si los beneficios superaban los costos: un resultado mayor a 1 indica que los beneficios superan los costos; un resultado igual a 1 significa que no se generan ganancias ni pérdidas; y un resultado menor a 1 sugiere que los costos superan los beneficios. Esta metodología facilitó el análisis de la viabilidad económica de cada tratamiento en el experimento.

3.6 Manejo del Experimento

Las diversas actividades que se desarrollaron durante la etapa de engorde del animal son las siguientes.

Figura 7

Actividades desarrolladas durante el manejo del experimento



Nota. Las actividades desarrolladas durante el manejo del experimento son: A) Preparación de infraestructura; B) Recepción de animales; C) Manejo Sanitario; D) Preparación del alimento concentrado; E) Preparación de dosificaciones; F) Alimentación; G) Recolección y análisis de datos.

3.6.1 Preparación de infraestructura

Cada corral se adecuó con dimensiones de 1.20 m por 0.70 m, y sus divisiones se construyeron con tablas de 1 m de altura. Para asegurar una buena ventilación, se instalaron ventanas en la pared frontal y lateral de cada corral, lo que permitió una circulación constante de aire. En la parte frontal, cada corral estuvo equipado con comederos individuales, mientras que un sistema de bebederos automáticos, tipo chupón, proporcionó agua constantemente mediante una tubería conectada a cada unidad. Además, se colocó un foco infrarrojo en cada corral para generar calor.

3.6.2 Recepción de animales

Se compraron 12 animales de raza híbrida, y antes de su arribo, se llevó a cabo la desinfección del establo usando 10 ml de creolina diluida en 1 litro de agua. Los animales ingresaron al galpón con un peso promedio de 38 kg, incluyendo tanto hembras como machos castrados, respectivamente.

3.6.3 Manejo Sanitario

Se realizó una desparasitación con ivermectina, aplicando una dosis de 0.3 mg de ivermectina por kg de peso vivo; para la bioseguridad, se colocó una bandeja con cal en la entrada del galpón, evitando así contaminaciones internas. En cuanto a la higiene y limpieza, las instalaciones se limpiaron diariamente y se desinfectaron dos veces a la semana con 10 ml de creolina en 1 litro de agua para reducir la carga patógena. Los residuos sólidos se recolectaron diariamente y se almacenaron en un lugar específico para su posterior tratamiento.

3.6.4 Preparación del alimento concentrado

Dado que el agente antioxidante debía ser combinado con el alimento concentrado, se procedió a elaborar este último de manera personalizada. En su formulación, el alimento concentrado presentó las siguientes características nutricionales (Tabla 6).

Tabla 6

Componentes del alimento concentrado preparado

Ingredientes	Energía Kcal/Kg	Proteína %	Fibra%	Grasa %
Maíz	3370.00	7.50	1.10	3.30
Núcleo proteico	2740.00	34.00	6.00	3.00
Afrechillo	2290.00	9.90	11.10	3.30
Aceite de palma	8350.00	0.00	0.00	100.00

3.6.5 Preparación de dosificaciones

Se formuló la dieta alimenticia siguiendo los requerimientos nutricionales óptimos para la etapa de engorde de los cerdos, asegurando un balance adecuado de energía, proteínas y grasas. La mezcla incluyó maíz como fuente principal de carbohidratos, núcleo proteico para garantizar un adecuado aporte de aminoácidos esenciales, afrechillo para proporcionar fibra y mejorar la digestión, y aceite de palma como fuente de grasa para aumentar la densidad energética de la dieta. Esta combinación permitió satisfacer las necesidades nutricionales de los cerdos, optimizando su crecimiento y desarrollo durante el período de engorde.

3.6.6 Alimentación

La alimentación se proporcionó dos veces al día, a las 8:00 y a las 16:00, lo cual ayudó a regular la digestión y mejoró la eficiencia en la absorción de nutrientes. La cantidad de alimento, en kilogramos, se ajustó de acuerdo con lo especificado en la tabla de alimentación.

3.6.7 Recolección y análisis de datos

Transcurridos los primeros siete días, se procedió a la recopilación de los datos correspondientes, los cuales fueron ingresados de manera digital para su posterior análisis comparativo entre los diferentes tratamientos. Este procedimiento se llevó a cabo de forma continua durante un período de 8 semanas, que abarcó toda la etapa de engorde de los cerdos. El análisis permitió evaluar el impacto de los tratamientos aplicados en el rendimiento productivo de los animales a lo largo del ensayo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los hallazgos logrados durante la fase de experimentación.

4.1 Desperdicio de alimento

La Tabla 7 muestra el análisis de varianza, donde se observa que no existe interacción entre los factores semana: tratamiento ($p=0.1531$), de igual manera, no existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p=0.2116$). Sin embargo, el factor semanas si muestra una diferencia estadística ($p<0.001$), lo que indica que el desperdicio de alimento está en función del tiempo y no los tratamientos.

Tabla 7

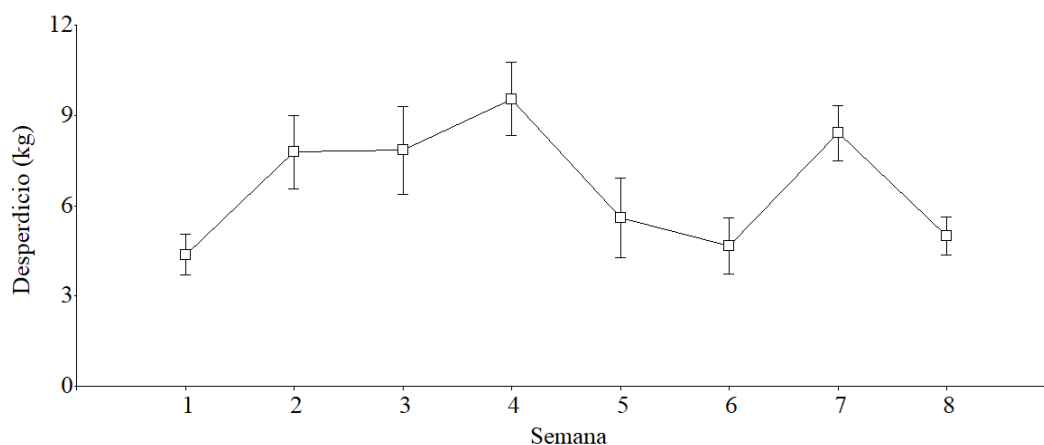
Análisis de la varianza para la variable desperdicio de alimento.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor P
	Error	
Semana	54	<0.0001
Tratamiento	54	0.2116
Semana: Tratamiento	54	0.1531

La figura 7 muestra el comportamiento de la variable en estudio, donde el desperdicio de alimento se muestra irregular, es así que se encuentran valores que van desde los 4 Kg en la semana 1 hasta los 9 Kg en la semana 4. Por otra parte, la cantidad de alimento desperdiciado que se registró entre las semanas 2, 3, 4 y 7 muestra puntajes entre 8 kg y 9 kg. Finalmente, las semanas 1, 5, 6 y 8 aunque con menores valores de desperdicio, no fueron diferentes entre ellas, registrando valores entre 4 kg y 5.5 kg.

Figura 8

Desperdicio de alimento a lo largo de las semanas de evaluación.



Díaz et al. (2022) observaron que un ajuste incorrecto de la abertura de los comederos puede aumentar el desperdicio de alimento hasta en un 20% en cerdos en crecimiento, especialmente en etapas donde los animales crecen rápidamente y sus hábitos de consumo cambian. Si bien en este estudio no se manipuló explícitamente el tipo de comedero o su ajuste semanal, es probable que los cambios en el tamaño de los animales y su interacción con los comederos estándar pudieran haber contribuido a los picos de desperdicio observados.

Montoya (2023) argumenta que la repetición de altos niveles de desperdicio a menudo está vinculada a ineficaces protocolos de alimentación, errores de dosificación o incluso condiciones ambientales que inciden en el consumo del alimento; en su investigación descubrió que las variaciones en el desperdicio oscilan entre un mínimo de 3.5 kg y un máximo de 8.75 kg en las etapas iniciales y finales, respectivamente, cifras similares a las observadas en este estudio.

Finalmente, Sagaró y Ferrer (2021) señalan que, en sistemas de consumo dinámico (eficiencia con la que los animales utilizan los nutrientes de los alimentos); una adecuada gestión del proceso alimenticio influye positivamente en el crecimiento y la producción de carne, lo que contribuye a reducir los costos de alimentación. En concordancia con lo expuesto por dichos autores, los hallazgos obtenidos en la presente investigación evidencian que una gestión adecuada de la alimentación puede favorecer el rendimiento productivo y minimizar pérdidas durante el periodo de engorde

4.2 Ganancia de peso

La tabla 8, referente a los resultados del análisis de varianza indican que no existe interacción entre semana: tratamiento ($p=0.0798$), para la variable ganancia de peso. De igual manera, muestran que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.1834$) independientemente de las semanas de evaluación; por otra parte, existe diferencias significativas entre semanas ($p<0.0001$) independientemente de los tratamientos evaluados.

Tabla 8

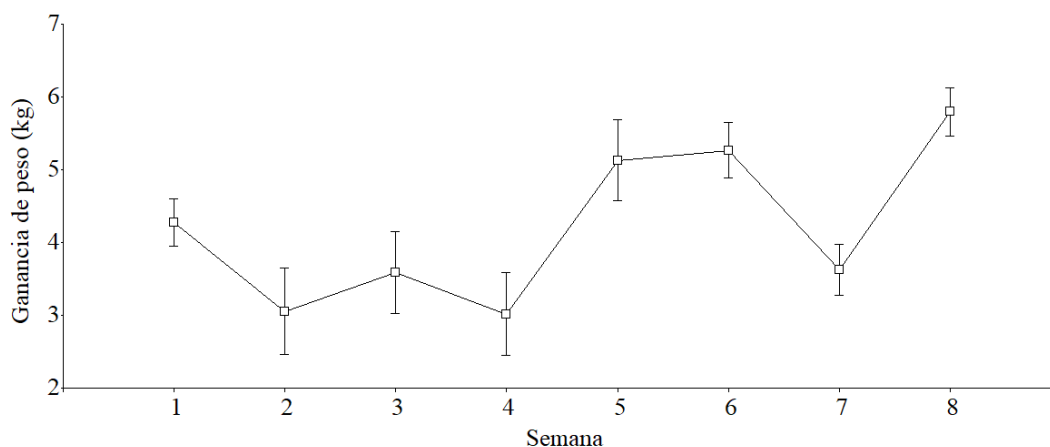
ADEVA para la variable ganancia de peso.

Fuente de variación	Grados de libertad error	Valor P
Semana	54	<0.0001
Tratamiento	54	0.1834
Semana: Tratamiento	54	0.0798

Con respecto a la Figura 7, se observa un comportamiento irregular en la ganancia de peso, con valores que van desde 4.2 kg en la semana 1 hasta 5.8 kg en la semana 8. Las semanas 1, 5, 6 y 8 presentaron las mayores ganancias, con 4.2 kg, 5.1 kg, 5.2 kg y 5.8 kg, respectivamente. En contraste, las semanas 2, 3, 4 y 7 registraron menores valores, aunque relativamente similares entre sí, con 3.1 kg, 3.6 kg, 3.0 kg y 3.7 kg, respectivamente.

Figura 9

Comportamiento de la ganancia en kg de peso en las ocho semanas.



De acuerdo con lo reportado por Ordoñez (2023), la inclusión de un probiótico en dietas para cerdos generó una mejora en la ganancia de peso únicamente durante las etapas finales del crecimiento, alcanzando un máximo de 6.2 kg. En contraste, en este estudio, la suplementación con el antioxidante no evidenció un efecto diferencial en ninguna fase específica del desarrollo, lo que sugiere que los tratamientos aplicados no constituyeron el principal factor modulador del crecimiento en las condiciones experimentales. En este contexto, la variabilidad registrada en la ganancia de peso parece responder a una dinámica fisiológica natural del crecimiento porcino, sin que la adición del antioxidante haya inducido una modificación significativa en el patrón de desarrollo.

Duarte y Rodríguez (2022) señalaron que, bajo condiciones óptimas, los cerdos pueden alcanzar una ganancia de peso semanal de hasta 2.2 kg, especialmente en las etapas finales del engorde, cuando el consumo de alimento es máximo y el desarrollo muscular se encuentra en su punto más acelerado. De forma comparable, en la presente investigación se registró una ganancia semanal cercana a los 2.1 kg en la última semana del ensayo, lo que refleja un patrón de crecimiento sólido y consistente con el potencial productivo descrito por dichos autores.

Caicedo et al. (2021), advierten que basarse únicamente en promedios generales de ganancia semanal puede ocultar aspectos clave del comportamiento productivo, lo que podría conducir a interpretaciones erróneas o a una subvaloración del impacto real de determinadas intervenciones nutricionales. Un análisis simplificado, por ejemplo, no permitiría distinguir si el valor de la semana 8 (8.5 Kg) corresponde a un desempeño atípico de pocos individuos o a una mejora sostenida en todo el grupo experimental.

Durante la semana 7, la ganancia de peso experimentó una caída notable, ubicándose alrededor de 3.5 kg, lo que representa una disminución significativa respecto a la semana anterior (semana 6), donde se observó un valor cercano a 5.2 kg. Esta fluctuación en el desarrollo podría ser causada por elementos del entorno, presión fisiológica, alteraciones en la ingesta de alimento o, simplemente, a la evolución natural del crecimiento en cerdos durante etapas de transición. Al comparar este resultado con lo señalado por Duarte y Rodríguez (2022), informaron que los porcinos son capaces de ganar hasta 2.2 kg a la semana durante las fases finales de engorde en condiciones ideales, evidencian que el peso anotado en la séptima semana se encuentra

notablemente por encima del promedio anticipado; esto indica una posible variabilidad en el crecimiento entre los distintos animales o una reacción no lineal a las condiciones del experimento.

4.3 Consumo de alimento

La tabla 9 muestra el análisis de varianza, donde se observa que no existe interacción entre los factores semana: tratamiento ($p = 0.1958$). De igual manera, no existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p = 0.2496$). Sin embargo, el factor semanas sí muestra una diferencia estadística ($p < 0.0001$).

Tabla 9

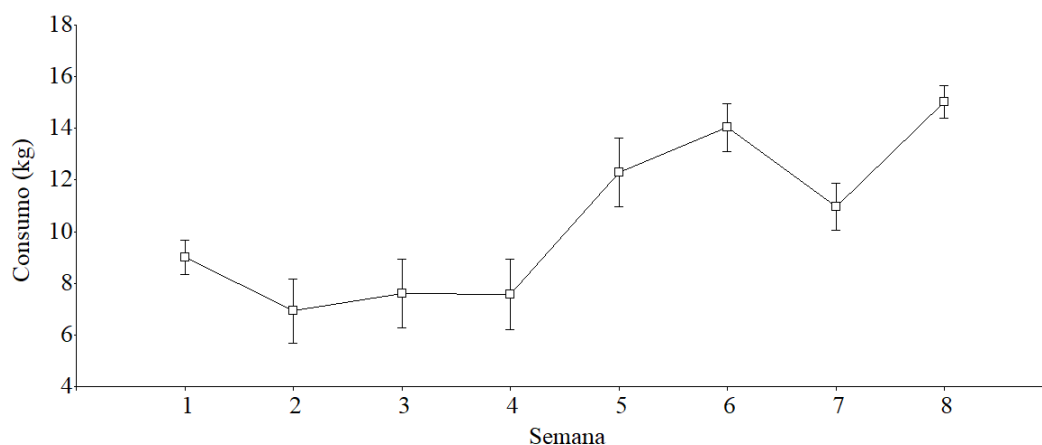
ADEVA de la variable consumo de alimento.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor P
	Error	
Semana	54	<0.0001
Tratamiento	54	0.2496
Semana: Tratamiento	54	0.1958

En relación con el consumo de alimento, la Figura 8 muestra un comportamiento irregular a lo largo del tiempo, con valores que oscilan entre 6.9 kg en la semana 2 y 15.0 kg en la semana 8. Se observa un mayor consumo en las semanas 5, 6 y 8, con registros de 12.3 kg, 14.0 kg y 15.0 kg, respectivamente. En contraste, las semanas 1, 2, 3, 4 y 7 presentaron valores más bajos y relativamente similares entre sí, con consumos de 9.0 kg, 6.9 kg, 7.5 kg, 7.5 kg y 11.0 kg, respectivamente.

Figura 10

Comportamiento del consumo de alimento durante el tiempo del experimento.



Benítez (2024), tras evaluar distintos aditivos en dietas porcinas, concluyó que muchos suplementos pueden ejercer efectos a nivel metabólico sin necesariamente provocar cambios significativos en el consumo de alimento, a menos que incidan directamente sobre la palatabilidad o generen una mejora sustancial en la salud intestinal. En comparación con el presente estudio se registró una variabilidad natural en el consumo, que osciló entre 7 kg en la primera semana y 16.5 kg en la última, sin que los tratamientos aplicados modificaran de forma apreciable este patrón. Las diferencias individuales observadas parecen responder a variaciones fisiológicas inherentes a cada animal, más que a una influencia directa del aditivo utilizado.

De-Cara y Rey (2021), en su análisis sobre el comportamiento alimenticio de cerdos en etapa de engorde, reportaron un aumento progresivo del consumo diario de alimento de hasta un 50 % entre la fase inicial y la fase final del ciclo productivo. De manera similar, en el presente estudio se observó un incremento en el consumo semanal, desde 7 kg en las primeras semanas hasta alcanzar 15.2 kg en las etapas finales, lo que refleja una respuesta fisiológica esperada asociada al crecimiento continuo y a la mayor exigencia metabólica de los animales en desarrollo.

Pinzón y Hurtado (2021), señalan que semanas con consumos elevados y relativamente constantes de hasta 14 kg suelen representar una fase de alta demanda energética asociada al crecimiento, más que una respuesta específica a los tratamientos aplicados. En este sentido, el patrón observado refleja una ingesta estable y constante de alimento propio de esta etapa fisiológica, mientras que

la variabilidad registrada entre individuos se atribuye a diferencias biológicas naturales en el comportamiento alimenticio y en la eficiencia metabólica, más que a efectos inducidos por la intervención nutricional.

En la semana 7, el consumo de alimento presentó una disminución, situándose alrededor de 11.5 kg, lo cual representa un descenso respecto a la semana anterior (semana 6), en la que el consumo superó los 14 kg. Esta reducción ocurre en una fase del crecimiento donde normalmente se espera un aumento continuo del consumo debido al mayor peso corporal y a la creciente demanda energética del animal. Según Pinzón y Hurtado (2021), semanas con consumos estables cercanos a 14 kg son típicas de una fase de alto requerimiento energético, correspondiente al pico de crecimiento muscular. Por lo tanto, la caída observada en esta semana podría señalar un quiebre temporal en el desarrollo corporal, posiblemente asociado a una alteración en los procesos fisiológicos de deposición de tejidos musculares y grasos, lo que se refleja además en la disminución paralela de la ganancia de peso reportada en la misma semana.

4.4 Conversión alimenticia

La Tabla 10, muestra el análisis de varianza, donde se observa que existe una interacción significativa entre los factores semana y tratamiento ($p=0.0001$). No obstante, las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas ($p = 0.2612$). Sin embargo, el factor semana presenta una diferencia altamente significativa ($p<0.0001$), lo que indica que el desperdicio de alimento está influenciado principalmente por el tiempo y no por los tratamientos evaluados.

Tabla 10

Análisis de varianza de tratamientos y semanas de evaluación para la variable Conversión alimenticia.

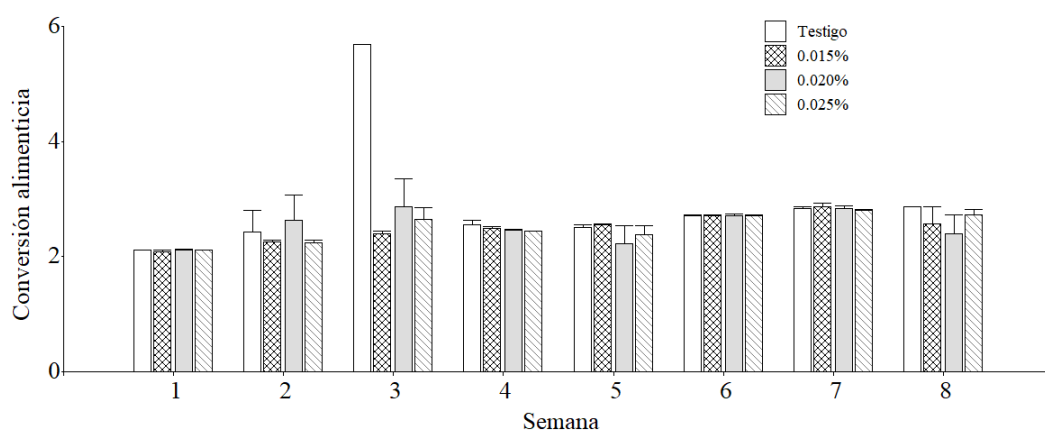
Fuente de variación	Grados de libertad error	Valor P
Semana	52	<0.0001
Tratamiento	52	0.2612
Semana: Tratamiento	52	0.0001

Con respecto a la conversión alimenticia, la Figura 11 muestra un comportamiento irregular, con valores que varían desde 2.1 en la semana 1 hasta un pico de casi 6.0 en la semana 3,

correspondiente al tratamiento Testigo. En particular, durante las semanas 2 y 3 se observaron los valores más elevados, destacando la semana 3 con una conversión de hasta 6.0 en el tratamiento Testigo, mientras que en la semana 2 la mayoría de los tratamientos presentaron valores que oscilaron entre 2.2 y 2.6. En contraste, las semanas 1, 4, 5, 6, 7 y 8 registraron valores menores y relativamente similares entre sí para la mayoría de los tratamientos, con conversiones que fluctuaron entre 2.1 y 2.8.

Figura 11

Conversión alimenticia de los tratamientos evaluados



Nota. Testigo (T1); 0.015 % de antioxidante metabólico (T2); Balanceado + 0.020 % de antioxidante metabólico (T3); Balanceado + 0.025 % de antioxidante metabólico (T4).

Gamarra (2021), evaluó la sustitución parcial del concentrado comercial con subproductos agroindustriales como cáscara de yuca y pulpa de café, logrando una conversión alimenticia (CA) de 2.15 y 2.32, respectivamente, sin comprometer el crecimiento de los animales. Asimismo, Vernaza et al. (2023), reportaron valores de CA entre 2.10 y 2.25 al incorporar harina de hoja de moringa en dietas de pollos de engorde. En comparación con este estudio, los tratamientos con el aditivo al 0.015 % y 0.020 % lograron conversiones alimenticias similares o inferiores y ganancias de peso comparables o superiores, lo que indica que la adición del aditivo no solo iguala la eficiencia de estrategias basadas en insumos locales, sino que puede superarlas.

Resultados similares fueron reportados por Silva et al. (2024), quienes evaluaron el uso de harina de bagazo de caña en dietas para cerdos, observando una conversión alimenticia de 2.20, sin afectar

significativamente el rendimiento productivo. Por su parte, Hurtado (2024), utilizó subproductos como harina de semilla de papaya en la alimentación de cerdos de engorde, registrando valores de CA entre 2.18 y 2.30, con una ganancia de peso ligeramente inferior al grupo control. En contraste, los tratamientos de este estudio que incluyeron el aditivo en concentraciones de 0.015 % y 0.020 % lograron mantener o mejorar tanto la conversión alimenticia como la ganancia de peso; esto sugiere que el aditivo posiblemente puede influir en la salud intestinal y en los procesos metabólicos del animal.

Según Baca y Ampuero (2019) aquellos que, al analizar la sustitución parcial del concentrado con subproductos de la agroindustria como la cáscara de yuca y la pulpa de café, lograron conversiones alimenticias de 2.15 y 2.32, respectivamente, sin comprometer el crecimiento de los animales. La comparación evidencia que el grupo testigo de este estudio fue considerablemente menos eficiente en la semana 3 que los animales alimentados con dietas alternativas en el estudio de Gamarra; puesto que la semana 3, el tratamiento testigo (T1) presentó una conversión alimenticia elevada, con un valor cercano a 6.0; este pico contrasta con los tratamientos que incorporaron el antioxidante metabólico (T2, T3 y T4), los cuales mantuvieron sus valores de CA dentro de un rango entre aproximadamente 2.0 y 2.5, mucho más estables y eficientes.

El valor atípico observado en la conversión alimenticia del grupo testigo durante la semana 3 podría estar indicando un episodio transitorio de ineficiencia productiva vinculado a un aumento en el estrés fisiológico; la ausencia de suplementación con aditivos antioxidantes metabólicos en este grupo probablemente contribuyó a una menor capacidad para contrarrestar el estrés oxidativo generado por procesos metabólicos intensificados durante esta etapa. El estrés oxidativo, caracterizado por un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y los mecanismos antioxidantes endógenos, puede comprometer la integridad celular y alterar rutas metabólicas clave, afectando la digestión, absorción y utilización de nutrientes (Arsuaga y Algaba, 2020). Por consiguiente, esta situación podría haber provocado una reducción en la eficiencia alimenticia temporal, reflejada en la elevada conversión observada (Benítez, 2024). En contraste, los grupos suplementados con antioxidantes metabólicos habrían mantenido una mejor homeostasis redox, favoreciendo la estabilidad metabólica y una utilización más eficiente del alimento, lo que se traduce en un desempeño productivo más constante y eficiente (Moscoso y Trabanino, 2023).

4.5 Ganancia de peso final

La Tabla 11 muestra el análisis de varianza, donde se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p = 0.6130$). Esto indica que, bajo las condiciones del estudio, los tratamientos no influyeron de manera diferenciada sobre la variable analizada que fue la ganancia de peso final.

Tabla 11

ADEVA para la variable ganancia de peso final

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor P
	Error	
Tratamiento	5	0.6130

En la Tabla 12 se muestra que a pesar de que las diferencias no fueron estadísticamente significativas, el análisis de los tratamientos muestra que el uso del antioxidante metabólico en los tratamientos T2, T3 y T4 podría tener efectos positivos en la ganancia de peso, ya que los promedios aumentan con la dosis del aditivo. T3 y T4, que contienen 20 g y 25 g del antioxidante por cada 100 kg de alimento, lograron una mayor ganancia de peso con promedios de $(33.57 \pm 3.09$ y $32.61 \pm 1.65)$ en comparación con el testigo (T1, sin antioxidante) que presentó el promedio más bajo de (25.55 ± 5.05) .

Tabla 12

Ganancia de peso final (Medias $\pm$ Error Estándar)

Tratamiento	Promedio
T1	25.55 ± 5.05
T2	31.03 ± 5.53
T3	33.57 ± 3.09
T4	32.61 ± 1.65

Chaguay (2021) resalta que, si bien un aumento promedio en el incremento de peso es preferible, una desviación estándar menor también es de gran importancia, ya que sugiere una reacción más constante entre las personas en un mismo tratamiento; en su estudio, aunque la mayor ganancia promedio fue de 34.68 kg, el valor más destacado fue su error estándar reducido (3.01), lo que sugiere una eficacia más predecible y consistente a nivel individual. En comparación, los datos de la Tabla 12 muestran que el tratamiento T3 logró una ganancia de peso cercana (33.57 kg) con un

error estándar de 3.09, mientras que T4, con una media ligeramente menor (32.61 kg), presentó el menor error estándar (1.65). Esto sugiere que, si bien T3 obtuvo una ganancia más alta, T4 podría considerarse más eficiente en términos de uniformidad de respuesta, lo cual es clave para garantizar la homogeneidad del lote y facilitar la planificación productiva.

Sagaró y Ferrer (2021), en un estudio sobre la suplementación con vitamina E, un reconocido antioxidante, reportaron que, aunque el grupo tratado presentó una ganancia de peso aproximadamente un 3 % mayor que el grupo control, esta diferencia no fue estadísticamente significativa bajo sus condiciones experimentales. De manera similar, se observa en este estudio que los tratamientos T2, T3 y T4 muestran ganancias de peso superiores a T1, con incrementos de entre el 21 % y el 31 % respecto a este último; sin embargo, los valores de error estándar son relativamente amplios, especialmente en T1 y T2, esto resalta la importancia de evaluar no solo las medias, sino también la consistencia de la respuesta para determinar el impacto real de los tratamientos con antioxidantes en la ganancia de peso.

Caicedo et al. (2021) demostraron que los antioxidantes tienden a ser más efectivos para mejorar el rendimiento productivo, incluida la ganancia de peso final, cuando los animales están expuestos a situaciones de estrés, ya sea térmico, inmunológico o a causa del manejo; en esos casos, las mejoras en el aumento de peso generalmente varían entre un 5 % y un 10 %. Esto podría explicar por qué, en este estudio, a pesar de observar una tendencia positiva en los tratamientos con aditivo reflejada en las ganancias superiores de los tratamientos T2, T3 y T4 frente a T1 no se logró una diferencia estadísticamente significativa. Considerando que la ausencia de un estrés en las condiciones experimentales podría haber limitado el impacto detectado del antioxidante sobre la ganancia de peso final.

4.6 Longitud corporal

La Tabla 13 muestra que no hubo diferencias significativas en la longitud corporal entre los tratamientos ($p=0.8289$), lo que sugiere que esta variable no fue afectada por los tratamientos aplicados.

Tabla 13*ADEVA de la variable Longitud Corporal*

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor P
	Error	
Tratamiento	5	0.8289

La tabla 14 muestra los valores promedio obtenidos para la variable longitud corporal bajo los diferentes tratamientos, donde se observa que el tratamiento T2 presentó el valor más alto (1.13 ± 0.05), seguido de T1 y T4 con un promedio de 1.10 ± 0.00 y 1.10 ± 0.02 , respectivamente, mientras que T3 mostró el valor más bajo (1.09 ± 0.02).

Tabla 14*Longitud corporal obtenida (Medias $\pm$ Error Estándar)*

Tratamiento	Promedio
T1	1.10 ± 0.00
T2	1.13 ± 0.05
T3	1.09 ± 0.02
T4	1.10 ± 0.02

Quintana et al. (2021), reportaron que una restricción severa de aminoácidos esenciales puede reducir la longitud corporal de los cerdos entre un 10% y 15% en comparación con dietas balanceadas, evidenciando el impacto crítico de una nutrición adecuada sobre el desarrollo corporal. En oposición, investigaciones que analizan el impacto de los antioxidantes, como la de Chávez (2022), sugieren que estos complementos generalmente presentan efectos despreciables o casi inexistentes en cuanto a la longitud, con cambios inferiores al 1 %, aunque pueden mejorar otros indicadores productivos como la ganancia de peso o la calidad de la carne. En concordancia con estas observaciones, los resultados presentados en la Tabla 14 muestran que los tratamientos no provocaron diferencias significativas en la longitud corporal, con promedios muy similares entre 1.09 y 1.13 metros y errores estándar reducidos, sugiriendo que el aditivo evaluado no afecta de manera notable el desarrollo lineal de los animales.

Arredondo et al (2021) señalaron que, deficiencias marcadas en minerales esenciales, como el calcio y fósforo, pueden disminuir la longitud corporal en cerdos hasta en un 12 % en comparación con dietas equilibradas, destacando la importancia de una correcta suplementación mineral para el

desarrollo óptimo. Por otro lado, investigaciones como la de Armijos et al. (2022), que analizaron el impacto de extractos antioxidantes en la alimentación porcina, reportaron efectos insignificantes sobre la longitud corporal, con variaciones menores al 1.5 %, a pesar de observar mejoras en parámetros productivos como la conversión alimenticia y la calidad de la carne. De forma similar, en los resultados mostrados en esta investigación se evidenció que los tratamientos no generaron diferencias estadísticamente significativas en la longitud corporal, con valores promedio entre 1.08 y 1.14 metros y errores estándar bajos, indicando que la inclusión del aditivo no modificó el crecimiento lineal de los animales.

4.7 Grasa dorsal

El análisis de la varianza correspondiente a la variable de grasa dorsal final Tabla 15, muestra que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos estudiados ($p=0.8925$).

Tabla 15

ADEVA de Grasa dorsal al finalizar las ocho semanas

Fuente de variación	Grados de libertad error	Valor P
Tratamiento	5	0.8925

En la tabla 16 muestra los valores promedio obtenidos para la variable grasa dorsal bajo los distintos tratamientos, donde se observa que T4 presentó el valor más alto (17.67 ± 4.33), seguido por T1 (17.50 ± 3.50), T3 (15.67 ± 1.76) y T2 con el valor más bajo (14.67 ± 5.36).

Tabla 16

Grasa dorsal total obtenida (Media $\pm$ Error Estándar)

Tratamiento	Promedio
T1	17.50 ± 3.50
T2	14.67 ± 5.36
T3	15.67 ± 1.76
T4	17.67 ± 4.33

Moscoso y Trabanino (2023), reportaron valores de grasa dorsal en cerdos genéticamente magros de aproximadamente 18 a 20 mm, con pesos de faena cercanos a los 100 kg. En comparación, los resultados presentados en la Tabla 16 muestran que los tratamientos evaluados en este estudio

exhibieron valores promedio de grasa dorsal entre 14.67 y 17.67 mm, ligeramente inferiores, pero dentro de un rango cercano al reportado por dichos autores. Esta inclinación podría indicar un relativo buen desarrollo muscular o una herencia genética direccionada hacia la delgadez en los sujetos de este estudio, lo cual es coherente con la selección genética presente para mejorar la eficiencia en la producción y la calidad de la carne.

Wang et al. (2020), en su estudio sobre el uso de antioxidantes en cerdos, reportaron que la suplementación con vitamina E y selenio no afectó significativamente el espesor de la grasa dorsal, aunque sí mejoró la calidad de la carne en términos de estabilidad oxidativa. También en este estudio, el T2 (14.67 mm) y T3 (15.67 mm) presentan promedios más bajos, lo que en principio podría ser favorable, porque menos grasa dorsal suele asociarse con una mejor eficiencia en el uso de los nutrientes; no obstante, dado que las diferencias no son significativas, no se puede concluir que los tratamientos con menor dosis de antioxidante realmente resulten en una menor acumulación de grasa de manera confiable.

4.8 Rendimiento a la canal

El análisis de varianza para el rendimiento a la canal (Tabla 17), muestra que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0.8460$), lo que sugiere que este parámetro no fue afectado por la suplementación antioxidante metabólico.

Tabla 17

Análisis de varianza de la variable Rendimiento a la canal

Fuente de variación	Grados de libertad error	Valor P
Tratamiento	5	0.8460

El análisis de la tabla de rendimiento a la canal muestra que los promedios de los tratamientos T1 (79.20), T2 (79.61), T3 (79.28) y T4 (79.20) son prácticamente iguales, con diferencias mínimas que no son estadísticamente significativas. A pesar de que T2 con un promedio de (79.61 ± 0.42) muestra un rendimiento ligeramente superior, la variabilidad entre los tratamientos es tan pequeña que no se puede considerar un efecto relevante (Tabla 18).

Tabla 18

Medidas de error estándar de la variable rendimiento a la canal

Tratamiento	Promedio
T1	79.20 ± 0.01
T2	79.61 ± 0.42
T3	79.28 ± 0.89
T4	79.20 ± 0.003

Pinzón y Hurtado (2021) señalan que el rendimiento a la canal en cerdos modernos, provenientes de líneas genéticas mejoradas, suele oscilar entre el 75 % y el 82 %, variando de acuerdo a elementos como el género, la edad en el momento del sacrificio, la genética particular y el período de inanición anterior a la faena. De manera coincidente, los resultados presentados en la Tabla 18 muestran que los tratamientos evaluados alcanzaron rendimientos promedio entre 79.20 % y 79.61 %, valores que se encuentran dentro de este rango esperado. Esto indica un buen desempeño general de los animales, independientemente del tratamiento aplicado, reflejando la calidad genética y el manejo adecuado durante el periodo experimental.

Palma et al. (2024), reportaron que el rendimiento a la canal en cerdos de genética mejorada típicamente varía entre el 76 % y el 80 %, dependiendo de variables como el sexo, la edad al sacrificio y el manejo prefaena, incluyendo el ayuno. De forma semejante, los valores de rendimiento observados en este estudio, que oscilaron entre 79.20 % y 79.61 %, según los tratamientos evaluados, se sitúan dentro de los rangos esperados para cerdos con buen potencial genético. Estos resultados reflejan un desempeño productivo satisfactorio y sugieren que las condiciones de manejo y alimentación durante la investigación fueron adecuadas.

4.9 Análisis Económico

El análisis económico independiente muestra en su primera sección los costos de producción obtenidos en la ejecución de los diferentes tratamientos, misma que resalta valores fijos para todos como equipos, materiales y costos de servicios, además señala la parte variable en la que se incluyen la compra del alimento, el antioxidante añadido y la cantidad de cerdos adquiridos para los debidos tratamientos.

Tabla 19*Resumen análisis económico del ensayo*

Análisis económico del ensayo			
Tratamiento	Costo de Producción	Beneficio Total	B/C
1	400.58	475.00	1.185
2	461.32	667.50	1.447
3	516.37	707.50	1.370
4	530.04	717.50	1.354

El análisis del indicador beneficio-costo (B/C) evidencia que todos los tratamientos evaluados resultaron económicamente rentables, al presentar valores superiores a 1, lo que indica que los beneficios generados superaron a los costos de producción en cada caso. El tratamiento T2 obtuvo el mayor B/C (1.447), demostrando la mejor relación entre inversión y retorno económico, seguido por T3 (1.370) y T4 (1.354). El T1, correspondiente al grupo control sin inclusión del antioxidante, presentó el valor más bajo (1.185), aunque todavía rentable. A medida que se incrementó la dosis del antioxidante, también aumentaron los costos de producción, especialmente debido al mayor consumo de alimento balanceado; sin embargo, este aumento fue acompañado por incrementos significativos en los beneficios totales, lo cual mantuvo el B/C por encima de 1 en todos los casos.

Estos resultados contrastan con los reportados por Duarte y Rodríguez (2022), quienes en su evaluación con cerdos observaron una tendencia decreciente en el B/C a medida que aumentaba la dosis de aditivos promotores del crecimiento; el grupo control obtuvo un B/C de 0.95, mientras que los tratamientos con 10 g, 15 g y 20 g de aditivo por cada 100 kg de alimento descendieron a 0.60, 0.52 y 0.45, respectivamente. A diferencia de ese estudio, en el presente experimento la incorporación del antioxidante metabólico no solo mantuvo la rentabilidad, sino que en algunos casos (como T2) la mejoró, sugiriendo que, bajo las condiciones de manejo aplicadas, el aditivo evaluado tuvo un impacto positivo tanto en el desempeño productivo como en la eficiencia económica.

Estos resultados difieren de los obtenidos por Mejía et al. (2024), quienes evaluaron el efecto económico de fitobióticos en dietas porcinas y encontraron que el indicador B/C disminuía conforme aumentaba la concentración del suplemento; en su estudio, el grupo control alcanzó un B/C de 1.10, mientras que los tratamientos con 0.5 %, 1 % y 1.5 % de fitobiótico presentaron

valores de 0.98, 0.85 y 0.78, respectivamente, esta disminución se atribuyó al alto costo del aditivo, que no fue compensado por un incremento proporcional en los beneficios. En contraste, en el presente estudio, la incorporación del antioxidante metabólico no solo permitió mantener la rentabilidad económica en todos los tratamientos, sino que en el caso de T2 incluso la optimizó, con un B/C de 1.447, esto afirma que, en las condiciones específicas de manejo y alimentación aplicadas, el aditivo evaluado mejoró la eficiencia productiva sin comprometer la viabilidad económica, a diferencia de lo observado en estudios previos con otros tipos de aditivos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El análisis de los resultados obtenidos en la etapa experimental permitió determinar que la adición de un antioxidante metabólico en concentraciones de 0.015 %, 0.020 % y 0.025 % no generó diferencias en los parámetros zootécnicos evaluados, lo que permite aceptar la hipótesis nula planteada en esta investigación. En particular, variables como la ganancia de peso final, la longitud corporal, la grasa dorsal y el rendimiento a la canal no presentaron diferencias considerables entre los tratamientos evaluados.

Se determinó que la suplementación con un antioxidante metabólico no influyó en el rendimiento a la canal de los cerdos, lo que permite aceptar la hipótesis nula planteada para esta variable; los promedios obtenidos para el rendimiento a la canal fueron similares entre todos los tratamientos evaluados. Estos resultados evidencian que, bajo las condiciones experimentales de este estudio, la inclusión del antioxidante metabólico no modificó la eficiencia de aprovechamiento de la canal, teniendo un desempeño productivo que no estaba vinculado al nivel de suplementación.

El análisis económico demostró que el T2 (Balanceado + 0.015 % de antioxidante metabólico) presentó la mayor rentabilidad, generando una ganancia de 0.45 USD por cada dólar invertido; adicionalmente el T3 (Balanceado + 0.020 % de antioxidante metabólico), presentó una rentabilidad de 0.37 USD por dólar invertido, también el T4 (Balanceado + 0.025 % de antioxidante metabólico), cuya rentabilidad fue de 0.35 USD por dólar invertido. Por el contrario, el tratamiento T1 (Testigo, sin antioxidante) evidenció la menor relación beneficio/costo, generando una ganancia de 0.18 USD por dólar invertido. Estos resultados muestran diferencias en la eficiencia económica de los tratamientos analizados.

Recomendaciones

Se sugiere realizar estudios complementarios bajo condiciones de estrés ambiental o sanitario controlado, para evaluar si la inclusión del antioxidante metabólico podría mostrar un mayor impacto positivo en el desempeño zootécnico de los animales.

Se recomienda ampliar las investigaciones incluyendo mayor tamaño de muestra o diferentes razas y sexos de cerdos, con el objetivo de identificar posibles interacciones entre la suplementación antioxidante y la genética o características productivas específicas.

Se recomienda promover el uso de estrategias con la suplementación de aditivos nutricionales (antioxidantes) que contribuyan a mejorar la rentabilidad económica de la producción, priorizando aquellas alternativas que optimicen la relación beneficio/costo y garanticen una inversión eficiente de los recursos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armijos et al. (2022). Caracterización Morfológica y Faneroptica del Cerdo Criollo en la Provincia de Loja. *Polo del Conocimiento*, 7(1), 1505-1517.
<https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8331459>
- Arredondo et al. (2021). Morfometría del cerdo criollo del Pacífico Colombiano. *Archivos Latinoamericanos De Producción Animal*, 29(3), 215-223.
<https://doi.org/https://doi.org/10.53588/alpa.293413>
- Arsuaga y Algaba. (2020). *Breve historia de la Tierra (con nosotros dentro)*. Titivillus ePub base r2.1. <https://doi.org/https://dokumen.pub/breve-historia-de-la-tierra-con-nosotros-dentro.html>
- Asamblea Nacional. (2021). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito: Gobierno Nacional del Ecuador. https://doi.org/https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Baca y Ampuero. (2019). Efecto de la inclusión de aceite esencial de orégano en la dieta de lechones destetados sobre parámetros productivos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(4), 1537-1542.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17145>
- Benítez, W. (2024). *Impacto de la Producción de Forraje Verde Hidropónico de maíz (Zea mays L.) como suplemento en la alimentación de cerdos*. Universidad Técnica de Babahoyo.
<https://doi.org/http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/17035>
- Caicedo et al. (2021). *Comportamiento productivo de cerdos comerciales alimentados conensilado de banano orito (Musa acuminata AA)*. Universidad Estatal Amazónica.
https://doi.org/https://www.researchgate.net/profile/Willan-Orlando-Caicedo-Q/publication/350567967_Productive_performance_of_commercial_pigs_fed_with_baby_banana_silage_Musa_acuminata_AA/links/60663cc9a6fdccad3f664342/Productive-performance-of-commercial-pigs-fed-with-b

- Cevallos, G. (2025). *Evaluar la morfométrica y cantidad de grasa en la canal de cerdos de engorde alimentados con harina de tagua (Phytalephas aequatorialis) como fuente de fibra*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
<https://doi.org/http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/7371>
- Chaguay, K. (2021). *Uso de la ractopamina en etapa de finalización, en cerdos de engorde*. Universidad Técnica de Babahoyo.
<https://doi.org/http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9315>
- Chávez, M. (2022). *Evaluación del crecimiento y grasa dorsal del cerdo criollo del cantón Guamote provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<https://doi.org/http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17515>
- De-Cara y Rey. (2021). *Incorporación de extractos de la hoja de olivo en la dieta y características de calidad de la carne de cerdo*. Universidad Complutense de Madrid.
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.14352/6989>
- Díaz et al. (2022). Mejora del comportamiento productivo de cerdos en crecimiento-finalización por consumo de aditivo líquido de levaduras. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1), 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.19136/era.a9n1.2905>
- Duarte y Rodríguez. (2022). Respuesta nutricional de concentrado comercial vs. Concentrado de una empresa para cerdos de engorde. *Revista Iberoamericana de bioeconomía y cambio climático*, 8(15), 1855–1862. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/ribcc.v8i15.14308>
- Gamarra, T. (2021). *Efecto de un gluconeogénico sobre la conversión alimenticia de cerdos, cruce comercial Duroc-Pietrain en crecimiento y engorde*. Universidad Nacional de Trujillo. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.14414/19345>
- Guerrero, J. (2021). *Digestibilidad aparente en cerdos de engorde alimentados con dietas alternativas en la Parroquia Río Chico del Cantón Portoviejo*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
<https://doi.org/https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3370/1/Jonathan%20Guerrero%20TESIS%2025%20Terminada.pdf>

- Hurtado, A. (2024). El Camote Morado: Un aliado nutritivo y sostenible para la alimentación porcina. *ALPA en el Campo*, 3(10), 1-34.
https://doi.org/https://alpa.uy/alpa/news/ALPA_EEC_2024_N10_es.pdf#page=5
- Infoagro. (2024). *Cría de cerdos: Generalidades, instalaciones y rentabilidad*. Lucha Campesina. <https://doi.org/https://luchacampesina.fin.ec/wp-content/uploads/2024/09/Infoagrocercos.pdf>
- Instituto Geográfico Militar. (10 de junio de 2019). *GeoPortal*. Visor Geográfico:
<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/visualizador/>
- Ionita, E. (2022). Reproductoras porcinas en Ecuador. *Veterinaria Digital S.A.*, 1(1), 1-10.
<https://doi.org/https://www.veterinariadigital.com/noticias/reproductoras-porcinas-en-ecuador/>
- Ledesma, C. (2020). *Análisis de la administración de heces fermentadas de porcinos en el control de enfermedades intestinales del cerdo*. Universidad Técnica de Babahoyo.
<https://doi.org/http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8504>
- López, M. (2020). *Valoración de las características químicas y nutritivas de fibra utilizada en la alimentación del ganado porcino*. Universidad Técnica de Babahoyo.
<https://doi.org/http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8473>
- Mejía et al. (2024). Comportamiento productivo de cerdos alimentados con suplemento fermentado en estado sólido a base de *Saccharum officinarum* L. y *Moringa oleifera* Lam. *La Calera*, 24(43), 1-3.
<https://doi.org/https://camjol.info/index.php/CALERA/article/download/18730/22736?inline=1>
- Montoya, C. (2023). *Opciones dietarias con los principales suplementos de la cosecha para la alimentación de cerdos*. Universidad Técnica de Babahoyo.
<https://doi.org/http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13947>

- Moscoso y Trabanino. (2023). *Evaluación de la suplementación de un modulador natural de la flora intestinal (MFeed®) en dietas para cerdos de engorde*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/11036/7716>
- Naranjo, F. (2021). *Evaluación del comportamiento productivo de cerdos en crecimiento – Ceba con la utilización de vísceras de pollo en su alimentación, parroquia Anconcito*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. <https://doi.org/https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6359>
- Ocampo, R. (2019). Análisis de diversidad genética en cerdo criollo san pedreño utilizando datos de pedigrí. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 333-341. <https://doi.org/https://doi.org/10.19136/era.a6n17.2049>
- Ordoñez, A. C. (2023). *Respuesta productiva de la adición de selenio orgánico como promotor de crecimiento en cerdos de engorde*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://doi.org/https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21990>
- Palma et al. (2024). *Efecto de una dieta restringida en proteína sobre el rendimiento y la calidad de la canal de cerdos Ibéricos cruzados con Duroc*. Qualitat i Tecnologia Alimentària. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12327/3283>
- Pinzón y Hurtado. (2021). Producción de proteína unicelular de *Saccharomyces cerevisiae* con granza de arroz e inclusión en cerdos. *Orinoquia*, 25(1), 23-33. https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-37092021000100023&script=sci_arttext
- Quintana et al. (2021). Efecto probiótico de microorganismos eficientes (ME-AgroAmbiental) sobre indicadores bioproductivos en cerdos Yorkland de preceba. *Revista de Salud Animal*, 43(3), 1-6. https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0253-570X2021000300002&script=sci_arttext
- Sagaró y Ferrer. (2021). Alimentación para cerdos de ceba en condiciones locales de agricultura familiar. *Ciencia en su PC*, 1(4), 22-35. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/1813/181371071012/181371071012.pdf>

- Silva et al. (2024). Efecto de diferentes protocolos de castración en indicadores productivos de cerdos: meta-análisis. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 15(2), 267-286.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6420>
- Vera, W. (2024). *Evaluación de los parámetros productivos en etapa de crecimiento de cerdos alimentados con palmiste*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
<https://doi.org/http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6286>
- Vernaza et al. (2023). Utilización de harina de morera (*Morus Alba*) en alimentación de cerdos en etapa de crecimiento. *Revista colombiana de ciencia animal recia*, 14(2), 1-7.
<https://doi.org/https://doi.org/10.24188/recia.v14.n2.2022.918>
- Wang et al. (2020). *Efectos de la suplementación con garcinol en cerdos de engorde sobre el crecimiento y la calidad de la carne*. Comunidad Profesional Porcina.
https://doi.org/https://www.3tres3.com/latam/abstracts/efectos-de-la-suplementacion-con-garcinol-en-cerdos-de-engorde_7082/
- Wook et al. (2023). Efectos de la suplementación con β -glucano y vitamina E sobre el rendimiento del crecimiento, los perfiles sanguíneos, la respuesta inmune, la calidad de la carne de cerdo, el sabor de la carne de cerdo y el beneficio económico en cerdos en crecimiento. *Animal Bioscience*, 36(6), 929-942.
<https://doi.org/https://doi.org/10.5713/ab.22.0433>
- Zuccolilli y Cambiaggi. (2023). *Introducción a la anatomía del porcino*. Universidad Nacional de La Plata. <https://doi.org/https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/177866>

ANEXOS

Anexo 1

Costos de producción T1

Rubros	unidad	Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD
Costos directos				
Insumos				
Alimento Balanceado	kg	156,24	1,16	181,24
Servicios básicos				
Agua	Litros		1,25	1,25
Luz			1,50	1,50
Materiales				
Escoba		1	3,50	3,50
Pala		1	9,85	9,85
Baldes		1	1,00	1,00
Sanidad				
Ivermectina	ml	4,5	0,12	0,54
Jeringas		3	0,12	0,36
Agujas		3	0,10	0,30
Mano de obra	horas	56	3,59	201,04
Total				400,58
Bloque				
	1	1	1	230,00
	3	1	1	240,00
Subtotal				470,00
Abono orgánico		4	1,25	5
Total				475,00
Indicador de B/C				1,185

Anexo 2

Costos de producción T2

Rubros	unidad	Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD
Costos directos				
Insumos				
Alimento balanceado	kg	240,1	1,16	241,26
Antioxidante metabólico	g	35,93	0,02	0,72
Servicios básicos				
Agua	Litros		1,25	1,25
Luz			1,50	1,50
Materiales				
Escoba		1	3,50	3,50
Pala		1	9,85	9,85
Baldes		1	1,00	1,00
Sanidad				
Ivermectina	ml	4,5	0,12	0,54
Jeringas		3	0,12	0,36
Agujas		3	1,00	0,30
Mano de obra	horas	56	3,59	201,04
Total				461,32
Bloque				
	1	2	1	240,00
	2	2	1	240,00
	3	2	1	180,00
Subtotal				660,00
Abono orgánico		6	1,25	7,5
Total				667,50
Indicador de B/C				1,447

Anexo 3

Costos de producción T3

Rubros	unidad	Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD
Costos directos				
Insumos				
Alimento Balanceado	kg	255,64	1,16	296,54
Antioxidante Metabólico	g	51,12	0,02	1,02
Servicios básicos				
Agua	Litros		1,25	1,25
Luz			1,5	1,50
Materiales				
Escoba		1	3,50	3,50
Pala		1	9,50	9,50
Baldes		1	1	1,00
Sanidad				
Ivermectina	ml	4,5	0,12	0,36
Jeringas		3	0,12	0,36
Agujas		3	0,1	0,30
Mano de obra	horas	56	3,59	201,04
Total				516,37
Bloque	Tratamiento	Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD
	1	3	1	230,00
	2	3	1	230,00
	3	3	1	240,00
Subtotal				700,00
Abono orgánico		6	1,25	7,5
Total				707,50
Indicador de B/C				1,370

Anexo 4

Costos de producción T4

Rubros	unidad	Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD
Costos directos				
Insumos				
Alimento Balanceado	kg	265,58	1,16	308,07
Antioxidante metabólico	g	66,39	0,02	1,33
Servicios básicos				
Agua	litros		1,25	1,25
Luz			1,50	1,50
Materiales				
Escoba		1	3,50	3,50
Escoba		1	9,85	9,85
Pala		1	1,00	1,00
Baldes		1	1,00	1,00
Sanidad				
Ivermectina	ml	4,5	0,12	0,54
Ivermectina		3	0,12	0,36
Jeringas		3	0,10	0,30
Agujas		3	0,10	0,30
Mano de obra	horas	56	3,59	201,04
Total				530,04
Bloque	Tratamiento	Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD
	1	4	1	230,00
	2	4	1	240,00
	3	4	1	240,00
Subtotal				710,00
Abono orgánico		6	1,25	7,5
Total				717,50
Indicador de B/C				1,354

Anexo 5

Ficha técnica TruGro MAX-Aditivo natural

FICHA TÉCNICA					
		Versión# LAYN(JY) 1256-C0			
Nombre del producto:	TruGro® MAX	Código:	TruGro AOX MAX		
Declaraciones:	No-GMO, No-Irradiado, No-Eto	Vida útil:	36 meses		
Almacenamiento:	En lugar fresco, en envases cerrados, al abrigo del aire y la luz solar directa.	País de origen (fabricación):	China		
Ingredientes:	Extracto de té verde, extracto de cítricos, soya, carbonato cálcico.				
PARÁMETRO		ESPECIFICACIÓN		MÉTODO	
Ensayo organoléptico					
Color		Marrón		Método de ensayo sensorial de Layn	
Aspecto		Polvo fino		Método de ensayo sensorial de Layn	
Olor & sabor		Característico con sabor desagradable		Método de ensayo sensorial de Layn	
Datos analíticos					
Polifenoles, %		6.0 - 9.0		Método de ensayo de polifenoles de Layn	
Pérdida en el secado, %		≤ 5.0		GB 5009.3	
Densidad en envase, g/mL		Solo informativo		Método de ensayo de densidad en envase de Layn	
Metales pesados					
*Arsénico (As), mg/kg		≤ 2.0		GB 5009.268	
*Plomo (Pb), mg/kg		≤ 2.0		GB 5009.268	
*Cadmio (Cd), mg/kg		≤ 1.0		GB 5009.268	
*Mercurio (Hg), mg/kg		≤ 1.0		GB 5009.268	
Control microbiológico					
Recuento total aeróbico en placa, cfu/g		≤ 2.0		GB 5009.268	
Levadura & Moho, cfu/g		≤ 1.0		GB 5009.268	
Coliformes, cfu/g		≤ 1.0		GB 5009.268	
*Escherichia Coli, 25 g		≤ 1.0		GB 5009.268	
*Staphylococcus Aureus, 25 g		≤ 10.000		GB 4789.2	
*Salmonella, 25 g		≤ 1.000		GB 4789.15	
Nota: El elemento marcado con * se ensaya a una frecuencia establecida en base a la evaluación de riesgos. Norma interna de Layn: Norma de Calidad TruGro MAX GB: Norma Nacional China CP: Farmacopea china					
Aprobado por: Ou Daoying (Director AC)				Fecha de aprobación: 8 de noviembre de 2019	
歐清英					



Anexo 6

Detalle de la alimentación

ALIMENTACIÓN										
EDAD	DÍAS		CONSUMO DE ALIMENTO			GANANCIA DE PESO		Peso final.Kg	CONVERSIÓN ALIMENTICIA	
Semana			Semana	Diaria	Acumulado	GDP/Kg	GDP/Semana			Semana
1	85	91	13,38	1,911	73,99	0,900	6,3	48,5	2,12	1,69
2	92	98	14,7	2,100	88,69	0,943	6,6	55,1	2,23	1,77
3	99	105	15,89	2,270	104,58	0,957	6,7	61,8	2,37	1,85
4	106	112	16,96	2,423	121,54	0,986	6,9	68,7	2,46	1,93
5	113	119	17,9	2,557	139,44	1,000	7	75,7	2,56	2,01
6	120	126	18,72	2,674	158,16	0,986	6,9	82,6	2,71	2,07
7	127	133	19,42	2,774	177,58	0,986	6,9	89,5	2,81	2,14
8	134	140	20,02	2,860	197,6	0,986	6,9	96,4	2,90	2,21
9	141	147	20,53	2,933	218,13	0,971	6,8	103,2	3,02	2,26
10	148	154	20,97	2,996	239,1	0,957	6,7	109,9	3,13	2,32