



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON
MENCIÓN EN MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**EFECTO DE LA MEZCLA DE HARINA DE CÁSCARA DE ARROZ Y ALIMENTO
TRADICIONAL EN CRECIMIENTO Y ENGORDE DE CERDOS PIETRAIN-DUROC**

FLOR ALEXANDRA ARMIJOS ARIAS
Código <https://orcid.org/0009-0002-5038-1318>

Modalidad en línea

TUTOR:
Ing. Irán Rodríguez Delgado. Mgs
Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

COTUTOR
Ing. Hipólito Israel Pérez Iglesias. PhD.
Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-8716>

PENSAMIENTO

“La familia es la base de la sociedad y el lugar donde las personas aprenden por vez primera los valores que les guían durante toda su vida”

(Juan Pablo II)

MACHALA
2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, primeramente, a Dios ya que en El todo es posible, él que está presente en mis buenos y malos momentos guiándome por el mejor camino.

A mi esposo Humberto Carlos, a mis hijos Fiorellita y Mateito y a todas aquellas personas que de una u otra manera siempre estuvieron a mi lado apoyándome para que alcance mis metas, sé que todos ellos estarán muy orgullosos de este logro tan grande que he conseguido en mi vida.

A mis queridos padres Ricardo Armijos y Pilar Arias quienes supieron encaminarme por el sendero del bien, con amor y paciencia, depositando en mí su confianza y sabiduría, lo cual guardo con gratitud en el fondo de mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco de manera especial a Dios que ha estado presente y que no me ha abandonado en los momentos difíciles y duros que hemos pasado toda la familia.
- A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, en especial a la Coordinadora del programa de maestría Dra. Leonor Rivera Intriago, por estar siempre apoyándome y a todos mis profesores que conforman la Institución de Educación Superior.
- Mis más sinceros agradecimientos por su valiosa colaboración al Ing. Irán Rodríguez Delgado, que como tutor de mi tesis me brindó sus conocimientos y experiencias para la elaboración de este proyecto.
- A mis familiares y amigos, quienes me apoyaron en esta investigación y en todo el tiempo como maestrante.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Flor Alexandra Armijos Arias con C.C 0705051951, declaro que el trabajo de “EFECTO DE LA MEZCLA DE HARINA DE CÁSCARA DE ARROZ Y ALIMENTO TRADICIONAL EN CRECIMIENTO Y ENGORDE DE CERDOS PIETRAIN-DUROC”, en opción al título de Magister en Recursos Naturales Renovables con mención en manejo y preservación de los Recursos Naturales, es original y auténtico; cuyo contenido: conceptos, definiciones, datos empíricos, criterios, comentarios y resultados son de mi exclusiva responsabilidad.

FLOR ALEXANDRA ARMIJOS ARIAS

C.C. 0705051951

Machala, 2024/abril/26

REPORTE DE SIMILITUD URKUND/TURNITIN

EFFECTO DE LA MEZCLA DE HARINA DE CÁSCARA DE ARROZ Y ALIMENTO TRADICIONAL EN CRECIMIENTO Y ENGORDE DE CERDOS PIETRAIN-DUROC

ORIGINALITY REPORT

10 %	7 %	5 %	2 %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Roberto Gustavo Martínez Gamba, Marco Antonio Herradora Lozano, Eva María Montero López, Gerardo Ramírez Hernández et al. "Alternativas para la producción porcina a pequeña escala", Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 2015 Publication	3 %
2	www.redalyc.org Internet Source	1 %
3	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	1 %
4	repositorio.uaaan.mx Internet Source	1 %
5	es.scribd.com Internet Source	1 %
6	pt.scribd.com Internet Source	<1 %

hdl.handle.net

7	Internet Source	<1 %
8	Submitted to Universidad Técnica de Machala Student Paper	<1 %
9	repository.unad.edu.co Internet Source	<1 %
10	www.engormix.com Internet Source	<1 %
11	issuu.com Internet Source	<1 %
12	bdigital.uao.edu.co Internet Source	<1 %
13	Submitted to Universidad Cooperativa de Colombia Student Paper	<1 %
14	colposdigital.colpos.mx:8080 Internet Source	<1 %

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

1. Yo, Irán Rodríguez Delgado con C.C. 0959288960; tutor del trabajo de titulación “EFECTO DE LA MEZCLA DE HARINA DE CÁSCARA DE ARROZ Y ALIMENTO TRADICIONAL EN CRECIMIENTO Y ENGORDE DE CERDOS PIETRAIN-DUROC”, modalidad en línea, en opción al título de Magister en Recursos Naturales Renovables con mención en manejo y preservación de los Recursos Naturales, declaro que el trabajo ha sido revisado, y está enmarcado en los procedimientos científicos, técnicos, metodológicos y administrativos establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), razón por la cual doy fe de los méritos suficientes para que sea presentado a evaluación.

Irán Rodríguez Delgado

C.C. 0959288960

Machala, 2024/abril/26

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Flor Alexandra Armijos Arias con C.C. 0705051951, autora del trabajo de titulación “EFECTO DE LA MEZCLA DE HARINA DE CÁSCARA DE ARROZ Y ALIMENTO TRADICIONAL EN CRECIMIENTO Y ENGORDE DE CERDOS PIETRAIN-DUROC”, en opción al título de Magister en Recursos Naturales Renovables con mención en manejo y preservación de los Recursos Naturales, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia *Creative Commons Attribution-NoCommercial* – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
 - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como autora la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.

Flor Alexandra Armijos Arias

C.C. 0705051951

Machala, 2024/abril/26

RESUMEN

La cáscara del grano de arroz es un subproducto generado en el proceso de pilado del cereal, que es desechado o incinerado lo cual produce afectación al ambiente; sin embargo, contiene alto contenido de fibra insoluble, sustrato para la fermentación microbiana, que contribuye a la formación de un ambiente colónico saludable, estimula la motilidad, previene el estreñimiento y mejora la calidad de las heces en cerdos. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la alimentación tradicional (elaborada a base de vísceras de pollo y banano de rechazo) mezclada con diferentes cantidades de harina (10, 15 y 20%) elaborada a partir de la cáscara de arroz mediante la medición quincenal del crecimiento y engorde de cerdos de la raza Pietrain-Duroc en la finca Peláez del sitio La Primavera, Cantón Machala, provincia de El Oro, para ello, se desarrolló un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos incluido el testigo, con ocho réplicas, constituidas por cerdos destetados a los 40 días. Se efectuaron mediciones quincenales durante 60 días de altura, ancho, largo y peso de animales. Los datos recolectados en campo fueron tabulados y procesados con el uso de software estadístico y se aplicó la prueba paramétrica de análisis de varianza de un factor intergrupos para conocer la presencia o no de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos objeto de estudio. La utilización del 20% de harina de cáscara de arroz en sustitución de alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollo y rechazo de banano cocidos constituye una alternativa eficaz que posibilita el incremento de la producción, así como, la reducción de gastos y costos en el proceso de crianza de cerdos de la raza Pietrain-Duroc, lo que puede estar asociado a un incremento de microbiota generado por el alto contenido de fibra y mejor aprovechamiento de los nutrientes. La reutilización del residuo generado en el pilado del arroz reduce en gran medida la afectación ambiental que provoca la incineración de cáscara del cereal.

PALABRAS CLAVE: Alimentación, Cereal, Residuos, Fibra insoluble, Metabolismo.

ABSTRACT

The husk of the rice grain is a by-product generated in the cereal milling process, which is discarded or incinerated, which affects the environment; However, it contains a high content of insoluble fiber, a substrate for microbial fermentation, which contributes to the formation of a healthy colonic environment, stimulates motility, prevents constipation and improves the quality of feces in pigs. The objective of the work was to determine the effect of traditional food (made from chicken entrails and rejected banana) mixed with different amounts of flour (10, 15 and 20%) made from rice husk by measuring biweekly of the growth and fattening of pigs of the Pietrain-Duroc breed on the Pelaez farm at the La Primavera site, Canton Machala, province of El Oro, for this, a completely randomized design was developed with four treatments including the control, with eight replicates, consisting of pigs weaned at 40 days. Biweekly measurements were made for 60 days of height, width, length and weight of animals. The data collected in the field were tabulated and processed with the use of statistical software and the parametric test of analysis of variance of an intergroup factor was applied to determine the presence or absence of significant statistical differences between the treatments under study. The use of 20% rice husk flour to replace traditional food made from chicken entrails and cooked banana rejection constitutes an effective alternative that makes it possible to increase production, as well as reduce expenses and costs in the process of raising pigs of the Pietrain-Duroc breed, which may be associated with an increase in microbiota generated by the high fiber content and better use of nutrients. The reuse of the waste generated in the rice mill greatly reduces the environmental impact caused by the incineration of the cereal husk.

KEYWORDS: Food, Cereal, Residues, Insoluble fiber, Metabolism.

ÍNDICE GENERAL

	pág.
PENSAMIENTO	2
AGRADECIMIENTOS	4
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	5
REPORTE DE SIMILITUD URKUND/TURNITIN	6
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	8
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
ÍNDICE GENERAL	12
CAPÍTULO I	19
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO II	22
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes históricos	22
2.1.1 Descripción de la cáscara de arroz	23
2.1.2 Historia y desarrollo de la producción harina de la cáscara del grano de arroz	25
2.1.3 Harina de cáscara de arroz	27
2.1.4 Características bio-físico-químicas de la cáscara de arroz	28
2.1.4.1. Composición química	28
2.1.4.2. Densidad	28
2.1.4.3. Porosidad	29
2.1.4.4. Absorción de agua	29
2.1.4.5. Tamaño de partícula	29
2.1.4.6. Poder calorífico	29
2.1.4.7. Contenido de cenizas	29
2.1.4.8. pH	29
2.1.5 Usos de la cascarilla de arroz	30
2.1.5.1 Combustible	31
2.1.5.2 Alimentación animal	31
2.1.5.3 Sustrato para hongos	322
2.1.5.4 Material de construcción	32
2.1.5.5 Producción de biofertilizantes	32
2.1.5.6 Producción de bioplásticos	32

2.1.6 Nutrición en la producción porcina	33
2.1.7 Requisitos nutricionales de cerdos en diferentes etapas de crecimiento	35
2.1.8 Importancia de la alimentación balanceada en la producción porcina	39
2.1.9 Harina de cáscara de arroz como suplemento alimenticio	40
2.1.10 Composición nutricional de la harina de cáscara de arroz	41
2.1.11 Estudios previos sobre el uso de la harina de cáscara de arroz en la alimentación porcina	43
2.1.11.1 Producción porcina	43
2.1.11.2 Producción nacional	44
2.1.11.3 Sistemas de producción	45
2.1.12. Genética y características de cerdos raza Pietrain-Duroc	46
2.1.12.1 Origen y características de la raza Pietrain	466
2.1.12.2 Origen y características de la raza Duroc	48
2.1.12.3 Cruces e hibridación en la producción de cerdos Pietrain-Duroc	51
2.1.13. Impacto de la dieta en el crecimiento porcino	53
2.1.14. Efecto de los nutrientes (proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales) en el crecimiento porcino	55
2.1.14.1 Evaluación de la calidad de las dietas en términos de su impacto en el crecimiento	56
2.1.14.2. Efectos de la fibra en la dieta porcina	56
2.1.14.3 Tipos de fibra dietética y su influencia en la digestión y la salud intestinal de los cerdos	57
2.1.14.4 Impacto en la digestión	59
2.1.14.5 Utilización de subproductos agrícolas en la alimentación porcina	59
2.1.14.6 Otros subproductos agrícolas utilizados en la alimentación de cerdos	60
2.1.14.7 Inclusión de harina de cascarilla de arroz en la dieta de los cerdos	61
2.1.15. Utilización de subproductos líquidos en la alimentación de cerdos	65
2.1.15.1 Evaluación de parámetros de crecimiento y engorde	65
2.1.15.2. Definición y cálculo de la ganancia diaria de peso	66
2.1.15.3 Factores que influyen en la conversión alimenticia	67
2.1.15.4. Componentes nutricionales en la dieta de los cerdos	68
2.1.15.5 Proporciones óptimas de harina de cáscara de arroz y balanceado en la dieta	69
2.1.15.6 Composición nutricional de la harina de cáscara de arroz	69
2.1.15.7 Impacto económico de la alimentación con harina de cáscara de arroz	69
2.1.15.8. Sostenibilidad en la producción porcina	70

2.1.15.9 Evaluación del impacto ambiental de las dietas que incluyen subproductos agrícolas	71
2.1.15.10 Aspectos económicos y sociales de la sostenibilidad en la producción porcina	71
CAPÍTULO III	73
3. MATERIALES Y MÉTODOS	73
3.1 Área de estudio	73
3.1.1. Características del área de estudio	73
3.2 Diseño experimental	74
3.3 Manejo del experimento	75
3.4 Variables a medir y recolección de datos	81
3.5 Procedimiento estadístico	84
CAPÍTULO IV	85
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	85
4.1 Efecto del alimento tradicional y la harina de cáscara de arroz en el crecimiento de cerdos raza Pietrain-Duroc durante 60 días posteriores al destete	85
4.1.1. Largo de cerdos	85
4.1.2. Ancho de cerdos	87
4.1.3. Altura de cerdos	89
4.1.4. Peso de cerdos	91
4.2 Ganancia en crecimiento y peso de cerdos raza Pietrain-Duroc	93
4.2.1. Ganancia en largo de cerdos	93
4.2.2. Ganancia en ancho de animales	95
4.2.3. Ganancia en altura de animales	97
4.2.4. Ganancia en peso de animales	98
5. CONCLUSIONES	101
6. RECOMENDACIONES	102
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
8. ANEXOS	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción morfológica del grano de arroz.	24
Figura 2. Esquema de la producción y principales subproductos generados en el proceso productivo del arroz.	26
Figura 3. Polvo de la cáscara de arroz.	26
Figura 4. Distribución de los costos de producción en las granjas porcinas.	35
Figura 5. Descripción de las partes de los granos de arroz.	42
Figura 6. Cerdo raza Pietrain.	47
Figura 7. Cerdo raza Duroc.	49
Figura 8. Cerdos raza Pietrain-Duroc.	52
Figura 9. Efectos de las fibras solubles e insolubles sobre el tracto gastrointestinal.	58
Figura 10. Ubicación geográfica del lugar donde se desarrolló el experimento.	73
Figura 11. Unidades experimentales (corrales) donde se establecieron a las unidades de estudio (cerdos) y se asignaron los tratamientos.	75
Figura 12. Piladora de arroz COAGRO (lugar donde sale la cáscara de arroz).	76
Figura 13. Fábrica moledora de la cáscara de arroz.	76
Figura 14. Cerdas adultas en estado de gestación.	78
Figura 15. Reproductora de la Pietrain-Duroc recién efectuado el parto.	78
Figura 16. Destete y primera alimentación de cerdos raza Pietrain-Duroc.	79
Figura 17. Areteo de los cerdos de raza Pietrain-Duroc.	79
Figura 18. Alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollo y rechazo de banano cocidos 12 horas antes de ofertado a los cerdos.	80
Figura 19. Cerdos de la raza Pietrain-Duroc al final del experimento.	81
Figura 20. Medición de la variable peso de animales.	82
Figura 21. Medición de la variable largo de animales.	83
Figura 22. Medición de la variable ancho de animales.	83
Figura 23. Evolución del largo de cerdos Pietrain-Duroc durante los primeros dos meses de edad.	87
Figura 24. Evolución del ancho de cerdos Pietrain-Duroc durante los primeros dos meses de edad.	89
Figura 25. Evolución de la altura de cerdos raza Pietrain-Duroc durante los primeros dos meses de edad.	91
Figura 26. Evolución del peso de cerdos Pietrain-Duroc durante los primeros dos meses de edad.	93
Figura 27. Efecto de los tratamientos en la ganancia de altura de cerdos Pietrain-Duroc.	95
Figura 28. Efecto de los tratamientos en la ganancia de ancho de cerdos Pietrain-Duroc.	96
Figura 29. Efecto de los tratamientos en la ganancia de altura de cerdos raza Pietrain-Duroc.	98
Figura 30. Efecto de los tratamientos en la ganancia de peso de cerdos Pietrain-Duroc.	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conductividad térmica de diferentes aislantes comerciales	25
Tabla 2. Valores de los principales constituyentes de la cascarilla de arroz	28
Tabla 3. Análisis físico-químico de la cascarilla de arroz.	30
Tabla 4. Estudios sobre alternativas de uso de cáscara de arroz.....	31
Tabla 5. Requisitos nutricionales en cerdos.....	34
Tabla 6. Requerimientos nutricionales de lechones en la fase pre-inicial.	36-37
Tabla 7. Relación aminoácido/lisina utilizada para estimar los requerimientos de aminoácidos de cerdos en crecimiento	38
Tabla 8. Desempeño y requerimiento nutricional de fósforo.....	39
Tabla 9. Propiedades físico-químicas de los subproductos más utilizados	40
Tabla 10. Composición química de la cascarilla de arroz y de las cenizas de la cascarilla de arroz.	42
Tabla 11. Características varias de la raza Pietrain.....	48
Tabla 12. Características de la raza Duroc de cerdos	50
Tabla 13. Comparación de algunos parámetros productivos de la línea Pietrain x Duroc vs Pietrain puro.....	53
Tabla 14. Composición química de las dietas balanceadas a base de maíz en las diferentes etapas de crecimiento de cerdos.....	54
Tabla 15. Requerimientos nutrimentales mínimos por etapa productiva.	60
Tabla 16. Valor relativo de diferentes ingredientes alternativos, en comparación con el maíz y la pasta de soya.	63
Tabla 17. Valor relativo de diferentes ingredientes alternativos, en comparación con el maíz y la pasta de soya.	64
Tabla 18. Tratamientos objeto de estudio en la investigación.	74
Tabla 19. Resultados del análisis de laboratorio realizado a la harina de cáscara de arroz utilizada en el experimento.	77
Tabla 20. Cuadro de operacionalización de variables.....	82
Tabla 21. Efecto de los tratamientos en el largo de cerdos Pietrain-Duroc, en diferentes momentos de muestreo.	86
Tabla 22. Efecto de los tratamientos en el ancho de cerdos Pietrain-Duroc, en diferentes momentos de muestreo.	88
Tabla 23. Efecto de los tratamientos en la altura de cerdos Pietrain-Duroc en diferentes momentos de muestreo.	90
Tabla 24. Efecto de los tratamientos en el peso de cerdos Pietrain-Duroc en diferentes momentos de muestreo.	92
Tabla 25. Resultados de análisis de varianza de un factor intergrupos para la variable largo de cerdos.	94
Tabla 26. Resultados de análisis de varianza de un factor intergrupos para la variable ancho de cerdos.....	96

Tabla 27. Resultados de análisis de varianza de un factor intergrupos para la variable altura cerdos.....	97
Tabla 28. Resultados de análisis de varianza de un factor intergrupos para la variable peso de cerdos.....	98

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultado de análisis de harina de cáscara de arroz.....	114
Anexo 2. Evidencias de la conducción del experimento.	115

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Desde hace miles de años, el ser humano comenzó recolectando granos silvestres para después implementar la agricultura, creando un vínculo directo con la naturaleza y aprendiendo de ella. Con el tiempo se implementaron nuevas técnicas de recolección de granos, hasta hoy, donde los equipos y maquinarias han reemplazado la mano de obra directa.

En el ámbito global la mecanización en el campo ha inducido a aplicar nuevas técnicas de cultivo, acelerar la productividad y eficiencia de las actividades del sector rural; siendo a su vez una práctica de labores que afectan la pérdida de calidad y fertilidad de los suelos, lo que ha generado la agricultura convencional, debido a la gran demanda de alimentos que se deben satisfacer.

El arroz (*Oryza sativa* L.), es uno de los tres principales cultivos a nivel mundial, junto con el maíz y el trigo; en el año 2022 se produjeron 776,4 millones de toneladas en 165,0 millones de has cosechadas, con un rendimiento agrícola de 4,7 t ha⁻¹. En Ecuador al cierre de periodo 2022 se obtuvo una producción de 1.2 millones de toneladas en 0,3 millones de ha cosechadas, alcanzando un rendimiento agrícola de 3,7 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2024).

En la provincia de El Oro, al primer semestre de año 2023, se obtuvo una producción de 35.030 sacas de arroz, equivalente a 43.788 de arroz pilado en 938.44 ha cosechadas (MAG, 2023).

Como todo cereal, el arroz debe pasar por un proceso de industrialización (descascarado, pulido y empaquetado) para que alcance la condición adecuada de consumo. La cáscara del grano de arroz comúnmente en la provincia de El Oro, es utilizada para cama en avicultura, porcicultura y en transporte de ganado vacuno; y cuando no es retirada de las fábricas de pilado, esta es incinerada para bajar el volumen o montículo de cáscara cruda apilada.

La combustión plena de cascarilla es un proceso que aporta cantidades importantes de dióxido o bióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. El CO₂ es un gas incoloro que se licúa a grandes presiones y bajas temperaturas. Presenta una solubilidad de 0,145 g en 100 g de agua. Se incluye dentro del grupo de gases y sustancias que generan efecto invernadero y se conocen como gases de efecto invernadero (GEI) (Prada y Cortés, 2010).

El presente estudio investigativo se enfoca en evitar la incineración descontrolada de la cáscara del grano de arroz en las empresas piladoras-procesadoras ubicadas en la provincia de El Oro, por lo que se propone dar valor comercial a la cáscara del grano de arroz mediante la fabricación de harina, para mezclar con los alimentos tradicionales para los cerdos en diferentes etapas de crecimiento, debido a su alta concentración en fibra.

Al considerar la insuficiencia que tiene la venta y uso de la cáscara del grano de arroz, más aún cuando la incineran, se plantea el siguiente **problema científico**: ¿Cómo aportar en la reducción de la contaminación ambiental, mediante la elaboración de harina a base de cáscara del grano de arroz?

A partir del problema se determinó el **objeto de la investigación**, la producción de harina de cáscara de arroz y la inclusión en la alimentación de los cerdos de la raza Pietrain-Duroc.

El análisis de las posibles causas se origina a partir del problema científico, precisándose a continuación los siguientes:

- ✓ Alta contaminación ambiental por la quema de la cáscara del grano de arroz.
- ✓ Desaprovechamiento de la cáscara del grano de arroz.
- ✓ Oferta abundante de la materia prima (casarilla).
- ✓ Falta de iniciativa y tecnología.
- ✓ Altos costos para la alimentación porcina.

Al considerar las causas descritas anteriormente se define como objetivo de investigación: Determinar el efecto de la mezcla de la alimentación tradicional y diferentes porcentajes de harina de la cáscara de arroz mediante la medición quincenal del crecimiento y engorde de cerdos de la raza Pietrain-Duroc.

Como resultado de la abstracción realizada al objetivo se limita el **campo de investigación**: Producción de harina a partir de la cáscara del grano de arroz e incorporarla en la dieta de cerdos en diferentes etapas de crecimiento.

Justificación del problema

Incluir la cáscara de arroz en la fabricación de harina conlleva al aprovechamiento de recursos reutilizables con el fin de crear un producto necesario para los animales existentes en las granjas, siendo en este caso la harina de la cáscara del grano de arroz.

Según Prada y Cortés (2010) cada kilogramo de cáscara de arroz incinerado emite a la atmósfera 1,43 kg de CO₂, evidenciándose que la combustión de este residuo orgánico produce cantidades importantes de gases con efecto invernadero.

La determinación de los antecedentes históricos, conceptuales-referenciales y contextuales permitió la construcción del marco teórico y definir la hipótesis **científica** que la presente investigación afronta:

- La mezcla de harina de cáscara de arroz en la alimentación tradicional de cerdos en la etapa inicial de crecimiento incrementa el rendimiento productivo, el peso y la conversión alimenticia.

Objetivo general

Determinar el efecto de la alimentación tradicional (elaborada a base de vísceras de pollo y banano de rechazo cocinados) mezclada con diferentes cantidades de harina (10, 15 y 20%) elaborada a partir de la cáscara de arroz mediante la medición quincenal del crecimiento de cerdos de la raza Pietrain-Duroc en la finca “Peláez” del sitio La Primavera, Cantón Machala, provincia de El Oro.

Objetivos específicos

- Comprobar el efecto de la mezcla de diferentes porcentajes de harina de cáscara de arroz con alimento tradicional elaborado a bases de vísceras de pollo y rechazo de banano en el largo, ancho y altura de cerdos Pietrain-Duroc durante 60 días posteriores al destete.
- Analizar la incidencia de la alimentación tradicional mezclada con diferentes cantidades de harina de cáscara de arroz en la ganancia de peso en la etapa inicial de crecimiento de cerdos Pietrain-Duroc.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes históricos

La utilización de la cascarilla de arroz (CA) tiene una larga historia en la agricultura y en la industria. En la antigua China, la cascarilla de arroz se utilizaba como combustible y para la fabricación de ladrillos. En la actualidad, se utiliza en diversos procesos, como la producción de biocombustibles, la fabricación de materiales de construcción, la alimentación animal y la fertilización de cultivo (Zambrano et al., 2021).

Desde tiempos remotos, la CA ha sido un complemento alimenticio para nuestros compañeros de cuatro patas. En lugares como la India, los búfalos de agua y las vacas lecheras se benefician de su consumo, mejorando tanto su producción de leche como su digestión. En la actualidad, la CA se ha convertido en una herramienta invaluable en diversos ámbitos industriales y agrícolas. Uno de sus usos más destacados es en la creación de biocombustibles, aprovechando su riqueza en celulosa y hemicelulosa para producir etanol y otros combustibles mediante procesos de fermentación.

Además, la CA desempeña un papel destacado en la construcción. Al incorporarse como agente de relleno en la producción de cemento, no solo fortalece este material, sino que también reduce su impacto ambiental, brindando así una opción más sostenible. Y aún hay más aplicaciones para este recurso versátil. En la fabricación de materiales cerámicos y refractarios, la sílice extraída de la CA se ha destacado por su calidad excepcional, permitiendo la creación de cerámicas y vidrios de gran resistencia y durabilidad (Carrillo et al., 2013).

Además, la CA se utiliza en la producción de carbón activado, que se utiliza en la purificación de agua y aire. También se ha demostrado que la cascarilla de arroz es una fuente importante de zeolitas, que se utilizan en la purificación de gases y líquidos. En el sector agrícola, la CA se utiliza como un fertilizante natural para mejorar la calidad del suelo y la producción de cultivos. La CA es rica en nutrientes como el potasio, el calcio y el magnesio, y su aplicación en el suelo puede mejorar la calidad de los cultivos y reducir la necesidad de fertilizantes químicos (Carolina y Quijano, 2018).

En los países en desarrollo, se hace imperativo redirigir la alimentación de los cerdos hacia el uso de fuentes alternativas, con el fin de disminuir la dependencia de granos y cereales, cuyo empleo aumenta en un 65 y 70% los costos de la producción, volviendo su adquisición insostenible. En nuestro país, la formulación de alimentos balanceados para cerdos depende en gran medida de la harina de maíz y la harina de soya como ingredientes fundamentales. Estos alimentos balanceados que contienen maíz y soya se consideran como el punto de referencia para comparar con otros ingredientes que podrían utilizarse en su totalidad o en parte como sustitutos. Además de su relevancia en la alimentación porcina, es importante destacar que el maíz tiene un papel crucial en la alimentación humana y se emplea en la producción de biocombustibles (Romero et al., 2017).

Un hecho destacado en el sector es su conformación, caracterizada por la presencia predominante de pequeñas explotaciones familiares, que mayoritariamente se enfocan en la subsistencia. Estas explotaciones operan en áreas rurales cercanas a los centros urbanos, y la producción familiar se presenta como una opción esencial para la supervivencia en las comunidades rurales, aprovechando los subproductos en el proceso de producción (Hurtado et al., 2021).

Aumentar la eficiencia en pro de consolidar la estabilidad económica de una empresa agropecuaria se convierte en un desafío, especialmente cuando se busca disminuir la dependencia tanto del mercado exterior como de los insumos comerciales. Estos dos factores representan costos sustanciales, lo cual plantea un dilema significativo en términos de gastos, en especial para los productores de menor tamaño (Alfonso et al., 2018).

2.1.1 Descripción de la cáscara de arroz

Rodríguez (2007) manifiesta que la planta de arroz (*Oryza sativa* L.), perteneciente a la familia Poaceae, es la especie de arroz de mayor relevancia económica, ya que se cultiva extensamente en diversas regiones del mundo, entre las que se encuentran Asia, América del Norte y del Sur, Europa, Oceanía y el Centro-este de África, se compone de varios elementos principales, entre los que se encuentran:

a) El germen, es la parte más nutritiva del grano, alta cantidad de ácidos grasos, aminoácidos y enzimas. Es la parte que impulsa el crecimiento del grano.

- b) El endospermo, que constituye aproximadamente el 70% del volumen del grano y se convierte en el arroz blanco una vez finalizado el proceso de producción.
- c) La epidermis o cascarilla, que representa alrededor del 6,8% del grosor de la semilla de arroz. Este componente es aprovechado como alimento para el ganado debido a su alto contenido de grasas.
- d) La cáscara, que constituye alrededor del 20% del peso total del grano y se elimina durante el proceso de pilado. La acumulación de cáscara junto a los trituradores puede generar dificultades logísticas en su recolección y gestión (Figura 1).

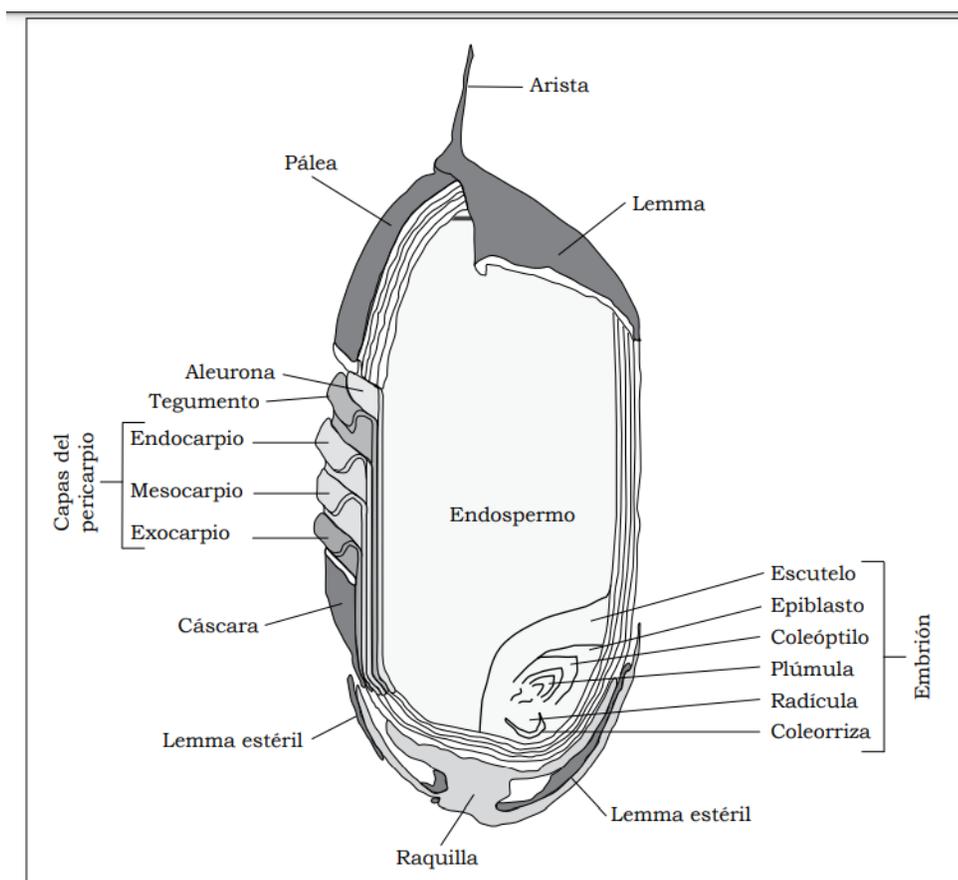


Figura 1. Descripción morfológica del grano de arroz.

Fuente: Degiovanni (2010).

El grano de arroz posee diferentes capas protectoras, siendo la cáscara una de ellas, esta capa aísla y protege al grano, a la vez que limita su exposición al viento y a la degradación interna. Debajo de la cáscara se encuentran otras capas como el pericarpio (cubierta de la semilla), la aleurona y el nucleó. Estas capas, junto al germen, forman el salvado de arroz.

El 72% del grano está compuesto por el endospermo, el 20% por la cáscara y el 8% restante por el pericarpio. La cascarilla de arroz es una fibra natural que envuelve al grano y lo protege del medio ambiente. Su longitud puede variar entre 5 y 11 mm, es de aspecto irregular y textura áspera (6 en la escala de Mohs). Posee una alta porosidad (54%), con huecos que permanecen cerrados hasta que se incinera (Rodríguez et al., 2013).

Comúnmente, la cáscara de arroz se quema para disminuir su volumen, liberando gases contaminantes al ambiente, su poder calorífico es de 16720 kJ/kg, similar al carbón. El residuo resultante, rico en sílice (más del 90%), se convierte en una fuente viable de este material. Entre los contaminantes presentes en la cáscara se encuentran magnesio, calcio, manganeso, potasio, hierro, aluminio, boro y fósforo. Su baja conductividad térmica la convierte en un buen material para sistemas de aislamiento térmico (Tabla 1) (Quiceno y Mosquera, 1997).

Tabla 1. Conductividad térmica de diferentes aislantes comerciales

Material	Conductividad térmica (W/mK)
Cascarilla de arroz	0,047
Lana de vidrio	0,04
Espuma de poliestireno	0,033

Fuente: Rodríguez et al. (2013).

2.1.2 Historia y desarrollo de la producción harina de la cáscara del grano de arroz

La producción de harina a partir de la cáscara del grano de arroz es una práctica que ha evolucionado a lo largo de los años. En la década de 1960, la producción de harina de cáscara de arroz se centró en la eliminación de la lignina y la sílice, lo que permitió la producción de una harina de mayor calidad. A medida que la demanda de alimentos para animales aumentó en la década de 1970, se desarrollaron procesos más eficientes para la producción de harina de cáscara de arroz (Garzón, 2023).

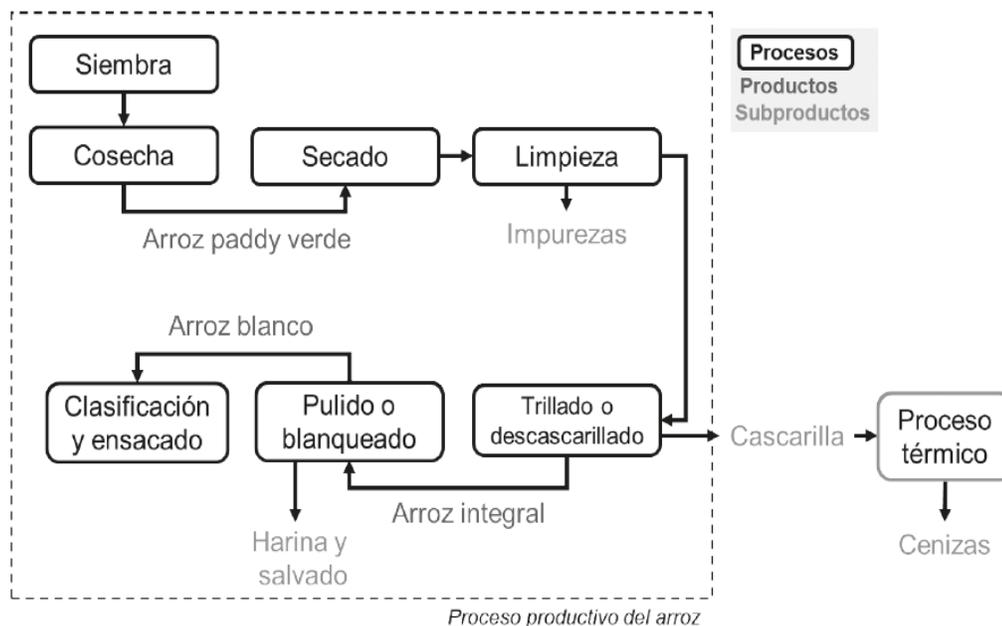


Figura 2. Esquema de la producción y principales subproductos generados en el proceso productivo del arroz.

Fuente: Puerta et al. (2021).

En la actualidad, la harina de cáscara de arroz se utiliza principalmente como alimento para animales debido a su alta cantidad de fibra y bajo costo; además, se utiliza en la producción de biocombustibles y en aplicaciones industriales. Investigaciones previas han indicado que las propiedades térmicas de la cascarilla de arroz respaldan su aplicación como fuente de energía para la combustión en hornos, incluso a nivel de industrias (Ramón et al., 2018).



Figura 3. Polvo de la cáscara de arroz.

2.1.3 Harina de cáscara de arroz

Tipanluisa et al. (2015) describen que la cascarilla de arroz se destaca como uno de los subproductos agroindustriales de mayor relevancia en Ecuador, la harina de cáscara de arroz es un subproducto de la producción de arroz que se ha vuelto cada vez más popular como ingrediente alimentario debido a sus propiedades nutricionales y beneficios para la salud.

La cáscara de arroz es la capa exterior del grano de arroz, que generalmente se desecha durante el proceso de producción de arroz. La harina de cáscara de arroz se produce moliendo las cáscaras de arroz en un polvo fino rico en fibra dietética, que puede ayudar a mejorar la salud digestiva y prevenir enfermedades como la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares (Monzó et al., 2015).

Además de sus propiedades nutricionales, la harina de cáscara de arroz también tiene beneficios para la industria alimentaria. Se puede utilizar como ingrediente en productos horneados como panes y galletas, así como en cereales y barrita energética. La harina de cáscara de arroz también puede utilizarse como espesante en sopas y salsas, y como ingrediente en productos cárnicos como salchichas y hamburguesas. La harina de cáscara de arroz también tiene beneficios ambientales. Al utilizar las cáscaras de arroz para producir, se reduce la cantidad de residuos de harina que se generan durante el proceso de producción de arroz. Esto puede ayudar a reducir el impacto ambiental de la industria arrocera (Puerta et al., 2021)

Es importante tener en cuenta que los porcentajes pueden variar según la variedad de arroz y el método de producción de la harina de cáscara de arroz. La cáscara de arroz es una fuente importante de fibra, especialmente de fibra insoluble, que tiene beneficios para la salud digestiva y prevención de enfermedades (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de los principales constituyentes de la cascarilla de arroz

Constituyente	Contenido (%)
Proteína cruda (%) N x 6,25	1,90– 3,00
Grasa cruda (%)	0,30– 0,80
Fibra cruda (%)	34,50 – 45,90
Carbohidratos disponibles (%)	26,50 – 29,80
Cenizas crudas	13,20 – 21,00
Sílice (%)	18,80 – 22,30
Calcio, mg/g	0,60 – 1,30
Fósforo mg/g	0,30 – 0,70
Fibra detergente neutral (%)	66 - 74
Fibra detergente ácida (%)	58 - 62
Lignina (%)	9 - 20
Celulosa (%)	28 - 36
Pentosas (%)	21 -22
Hemicelulosas (%)	12
Nutrientes digeribles totales (%)	9,30 – 9,50

Fuente: Vargas et al. (2013).

2.1.4 Características bio-físico-químicas de la cáscara de arroz

Quiceno y Mosquera (1997), indican que la cascarilla de arroz es un subproducto de la producción de arroz que tiene características bio-físico-químicas importantes. Se describen algunas de las principales características de la cascarilla de arroz.

2.1.4.1. Composición química

La cascarilla de arroz está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Además, contiene una pequeña cantidad de proteínas, lípidos y minerales como el silicio, el potasio y el magnesio.

2.1.4.2. Densidad

La densidad de la cascarilla de arroz es baja, lo que la hace fácil de transportar y almacenar.

2.1.4.3. Porosidad

La cascarilla de arroz es porosa, lo que la hace útil para la producción de materiales porosos como la zeolita y el carbón activado.

2.1.4.4. Absorción de agua

La cáscara de arroz es capaz de absorber grandes cantidades de agua debido a su alta porosidad. Esto la hace útil en la producción de materiales que requiere una alta capacidad de absorción de agua, como los pañales y los productos de limpieza.

2.1.4.5. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula de la cáscara de arroz varía según el método de procesamiento. En general, las partículas son pequeñas y tienen una forma irregular.

2.1.4.6. Poder calorífico

El poder calorífico de la cascarilla de arroz es bajo, lo que limita su uso como combustible. Sin embargo, se puede utilizar como combustible en combinación con otros materiales.

2.1.4.7. Contenido de cenizas

La cáscara de arroz contiene una cantidad significativa de cenizas debido a su alto contenido de minerales. Las cenizas se pueden utilizar en la producción de materiales de construcción y como fertilizante.

2.1.4.8. pH

El pH de la cascarilla de arroz es ligeramente ácido, lo que la hace útil en la producción de materiales que requiere un pH ácido, como algunos productos químicos.

La cascarilla de arroz tiene características bio-físico-químicas únicas que la hacen útil en una variedad de procesos industriales y agrícolas. Su composición química y su porosidad la hacen útil en la producción de materiales porosos y absorbentes, mientras que su contenido de cenizas y su pH ácido la hacen útil en la producción de materiales de construcción y productos químicos (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis físico-químico de la cascarilla de arroz.

Componente	Unidad	Valor promedio
Humedad Residual	%Peso	8,88
Material Volátil	%Peso	64,70
Cenizas	%Peso	13,06
Carbón Fijo	%Peso	13,36
Poder Calorífico Bruto	%Kcal/Kg.	3650
	KJ/Kg.	15275
Azufre total (como S)	%Peso	0,07
Lignina	%Peso	26,6
Celulosa	%Peso	38

Fuente: Quiceno y Mosquera (1997).

La cáscara de arroz (CA), lejos de ser un residuo, es una materia prima con un enorme potencial. Se trata de la capa que protege al grano durante su crecimiento y que se separa tras la molienda. Su composición, rica en hemicelulosa, celulosa y lignina, la convierte en un material ideal para diversos usos. Sometida a un proceso de pirólisis catalítica, la CA se transforma en una variedad de productos valiosos, como hidrocarburos oxigenados, aromáticos, fenoles, levoglucosano, furfural, acetona y otros. Estos productos tienen aplicaciones en la industria química, farmacéutica, alimenticia y energética (Robinson et al., 2022).

2.1.5 Usos de la cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto que se obtiene después de la molienda del arroz. Esta cáscara dura y fibrosa representa aproximadamente el 20% del peso seco de la cosecha de arroz y, a menudo, se desecha como un subproducto de desecho. Sin embargo, en los últimos años, se ha descubierto que la cascarilla de arroz tiene una amplia gama de aplicaciones y beneficios en diversos sectores. En este resumen, se incluyen algunos de los principales usos y beneficios de la cascarilla de arroz (Prada y Cortés, 2010) (Tabla 4).

Tabla 4. Estudios sobre alternativas de uso de cáscara de arroz.

A. Obtención de etanol por vía fermentativa.
B. Tostado para su uso como sustrato en el cultivo de flores.
C. Generación de energía (ladrilleras, secado de arroz y cereales).
D. Combustión controlada para uso como sustrato en cultivos hidropónicos.
E. Obtención de concreto, cemento y cerámicas.
F. Aprovechamiento de la cascarilla de arroz en compostaje y como lecho filtrante para aguas residuales.
G. Obtención de materiales adsorbentes.
H. Fuente de sustancias químicas (carboximetilcelulosa de sodio; dióxido de SiO ₂ , Nitruro de silicio; furfural)
I. Producción de aglomerados (tableros)
J. Material aislante en construcción.
K. Cama de avicultura, porcicultura y en transporte de ganado.
L. Cenizas en cultivos (Frutas)

Fuente: Prada y Cortés (2010).

2.1.5.1 Combustible

La cascarilla de arroz se posiciona como un combustible natural de alto rendimiento, sostenible y eficiente. Su uso representa una alternativa viable para la generación de energía, contribuyendo a la protección del medio ambiente y a la economía circular. Debido a su alto contenido de celulosa y lignina, la cáscara de arroz se quema fácilmente y libera calor, lo que la convierte en una fuente de energía económica y eficiente. Además, su produce combustión menos dióxido de carbono que otros combustibles fósiles, lo que la convierte en una opción más ecológica (Tipanluisa et al., 2015).

2.1.5.2 Alimentación animal

La cascarilla de arroz es una fuente valiosa de alimentación para animales debido a su alto contenido de fibra y proteína. En muchos países, se utiliza como alimento para el ganado y otros animales. La cascarilla de arroz también se puede mezclar con otros alimentos para aumentar su contenido nutricional (García et al., 2017).

2.1.5.3 Sustrato para hongos

La cascarilla de arroz se puede utilizar como sustrato para el crecimiento de hongos comestibles, como el shiitake y el champiñón. La cascarilla de arroz es rica en nutrientes como la glucosa y la celulosa, que son esenciales para el crecimiento de los hongos, es un excelente sustrato para el cultivo del hongo *Trichoderma* sp. Además, la cascarilla de arroz es fácilmente disponible y económica en comparación con otros sustratos utilizados en la producción de hongos (Postemsky et al., 2014).

2.1.5.4 Material de construcción

La cascarilla de arroz también se puede utilizar como material de construcción. Se ha utilizado como material de aislamiento térmico y acústico en paredes y techos, y se ha demostrado que es más eficaz que otros materiales aislantes en términos de reducción de ruido y conservación de energía. También se ha utilizado como material de relleno en la producción de ladrillos y bloques de construcción (Mafla, 2009).

2.1.5.5 Producción de biofertilizantes

La cascarilla de arroz también se puede utilizar en la producción de biofertilizantes debido a su alto contenido de nutrientes esencial como el potasio y el nitrógeno. Los biofertilizantes producidos a partir de la cascarilla de arroz son una alternativa más ecológica y económica a los fertilizantes químicos convencionales (Tencio, 2017).

2.1.5.6 Producción de bioplásticos

Los polihidroxicanoatos (PHAs) son biopolímeros que ciertos microorganismos acumulan como reserva de carbono y energía. Su gran potencial reside en su capacidad para reemplazar a los plásticos convencionales derivados del petróleo, conocidos por su lenta degradación y su impacto negativo en el medio ambiente. Los residuos lignocelulósicos, como la cascarilla de arroz, se presentan como una materia prima ideal para la producción de PHAs. Su riqueza en celulosa y hemicelulosa permite obtener azúcares fermentables mediante hidrólisis enzimática, los cuales son utilizados como sustrato para la producción de PHAs por parte de los microorganismos.

Esta estrategia no solo aprovecha un residuo abundante de la industria agroalimentaria, sino que también genera beneficios ambientales significativos al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y la generación de desechos plásticos. En definitiva, los PHAs a partir de la cascarilla de arroz representan un paso importante hacia una economía circular y sostenible (Montenegro, 2020).

2.1.6 Nutrición en la producción porcina

El empleo de ingredientes alternativos, como cereales y fuentes de proteína compartidos con la alimentación humana, plantea un desafío significativo en la nutrición animal. Esto crea una presión cada vez mayor en la industria pecuaria para desarrollar o utilizar materias primas que no entren en competencia directa con la alimentación humana. En este contexto, se fomenta la utilización de subproductos y la exploración de nuevas fuentes de proteína, como larvas, gusanos, algas, entre otros. La gestión adecuada de estos recursos dependerá de la generación de información a través de la investigación de la composición, digestibilidad de la proteína, contenido de fósforo, aporte de energía neta, así como el conocimiento sobre posibles factores antinutricionales o sustancias tóxicas (Bernal et al., 2019) (Tabla 5).

Tabla 5. Requisitos nutricionales en cerdos.

Proteínas	Lechones				Cerdos en Desarrollo						Cerdos en finalización	
	Preinicio		Destetados		Crecimiento		Hembras		Macho Castrado		Min	Max
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
Proteína bruta (%)	18	20	16,5	27	16,5	26	13,2	18,5	12,71	18,5	13,2	16
EM Kcal/Kg	2550	2700	3200	3400	2350	3300	2300	3200	3200	3230	2250	2300
Fibra bruta (%)	2,5	3,5	3	5	3	5,5	3	6	3	6	3	6,5
Calcio (%)	0,7	0,72	0,7	0,9	0,6	0,9	0,45	0,8	0,45	0,7	0,45	0,8
Lisina total (%)	1,31	1,48	1,1	1,7	0,95	1,5	0,6	1,05	0,48	1,14	0,6	0,74
Lisina digestible %	1,1	1,4	0,91	1,28	0,8	1,04	0,63	0,85	-		0,52	0,71
Metionina %	3,14		0,34	0,4	0,25	0,32	0,15	0,29	0,14	0,3	0,23	
Triptófano %	0,22	0,26	0,19	0,31	0,15	0,27	0,11	0,23	0,11	0,23	0,1	0,14
Treonina %	0,66	0,85	0,65	1,11	0,45	0,98	0,38	0,68	0,41	0,68	0,34	0,47
Fósforo total %	0,6	0,63	0,6	0,8	0,58	0,8	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5
Fósforo disponible %	0,35	0,42	0,31	0,6	0,24	0,55	0,19	0,4	0,19	0,4	0,15	0,22
Mg mg/Kg	0,04		0,04		0,04		0,04		0,04		0,04	
C1 %	0,16	0,18	0,16	0,25	0,15	0,2	0,08	0,14	0,08		0,08	13
Na %	0,3	0,4	0,18	2,5	0,15	0,22	0,08	0,22	0,08	0,22	0,1	0,22
K%	0,4	1,5	0,3	1,1	0,26	1,05	0,19	1,05	0,19	0,23	0,17	1,1
Mn	4		4		3		2	30	2	30	2	25
Cu	6		6		4	5	3	15	3	15	3	12,5
Zn ppm	100		80	125	30	80	50	150	50	150	50	125
Fe ppm	200		100	200	70	100	50	150	50	150	50	125
I mg/Kg	0,14		0,14	3	0,4	0,6	0,3	0,27	0,14	0,27	0,14	0,27
Se mg/Kg	0,3		0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,15	0,27	0,1	0,27
Vit. A MUI/Kg	10	15	10	12,5	7	7,5	5	7	6	7	5	6
Vit. D MUI/Kg	1,8	2,1	2	2,5	1,3	1,5	1	1,5	1	1,2	0,98	1,5
Vit. E UI	35	55	75	125	15	25	10	25	23	25	20	22
Vit. K mg/Kg	0,15	0,25	4	6	0,8	1,5	2,5		2,5		0,5	2
Ac. Fólico (ppm)	0,05	0,12	0,5	2,5	0,25	1	0,5	10	0,5	10	2	5
Niacina ppm	25	35	20	35	15	20	12	30	30		25	
Ac. Pantotenico ppm	13	16	20	30	8	10	6	18	18		15	
Biotina ppb	100	180	100	150	10	50	5	25	-		5	25
Colina ppm	200	400	100	200	50	110	400	100	40	100	20	200
Riboflavina mg/kg	4	7	4	8	0,5	4	2	5,4	2	5,4	4,5	
Cianocobalamina ug/kg	1,5	2,5	0,025	0,04	16	20	12	25	25		20	
Tiamina mg/Kg	1,2	2,2	2	3	0,5	20	0,3	1,5	0,3	1,5	0,3	1,5

Fuente: García et al. (2012).

La importancia fundamental de la alimentación en los sistemas de producción porcina radica en su influencia directa en la rentabilidad y sustentabilidad, constituyendo

aproximadamente el 70-75% de los costos totales de producción. Por consiguiente, resulta imperativo que la composición alimentaria satisfaga de manera completa los requisitos nutricionales específicos de las diversas etapas productivas (Figura 4). Además, se debe garantizar que la formulación alimentaria sea eficiente y evitar la generación de desperdicios que puedan impactar negativamente en la rentabilidad global del sistema (Murcia et al., 2021).

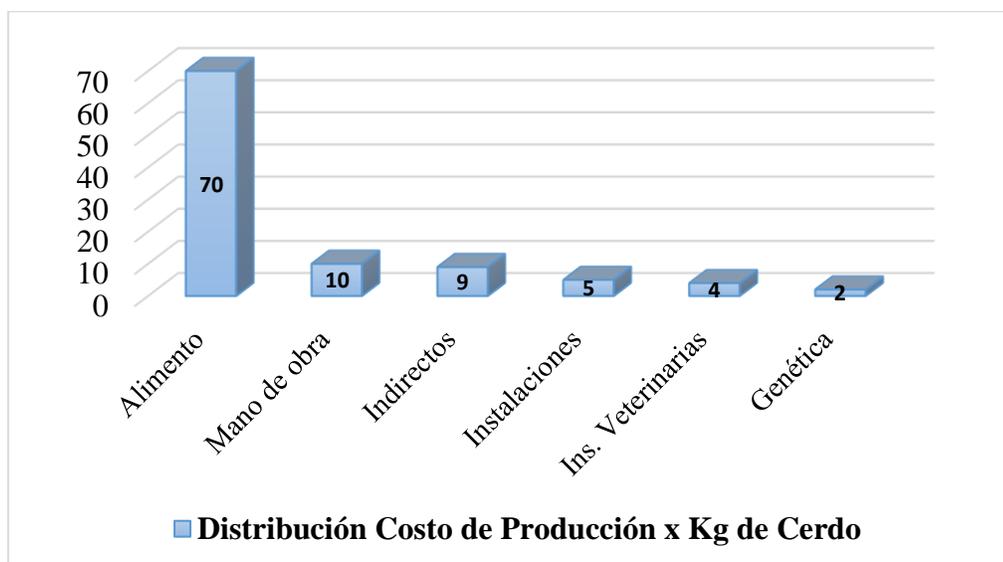


Figura 4. Distribución de los costos de producción en las granjas porcinas.

Fuente: Agromanagement Argentino (2010).

2.1.7 Requisitos nutricionales de cerdos en diferentes etapas de crecimiento

Según la información proporcionada por la FAO (2017), la carne porcina es la más consumida globalmente, seguida por la carne aviar y luego la carne bovina. Los porcentajes aproximados de participación en el consumo total son 43%, 33%, y 23%, respectivamente, mientras que la carne de pavo representa un modesto 2%. A pesar del crecimiento en el consumo de carne de cerdo a nivel nacional, los productores están enfrentando una crisis, la alimentación es uno de los factores afectados, siendo el maíz, la materia prima, considerado costoso por los productores.

Las demandas energéticas de los cerdos de engorde varían según su etapa de desarrollo, abarcando las fases de crecimiento uno, crecimiento dos, transición y acabado, siempre y cuando se mantenga un entorno óptimo. Un periodo especialmente crítico en la vida de estos animales es durante los dos primeros meses, hasta que alcancen los 50 kg, ya que el

llenado gástrico puede limitar su ingesta de materia seca o húmeda si no se gestiona de manera precisa. Resulta imperativo aplicar un manejo meticulado en esta etapa para asegurar un desarrollo saludable y un suministro nutricional adecuado (Gallardo, 2019) (Tabla 6).

Tabla 6. Requerimientos nutricionales de lechones en la fase pre-inicial.

Intervalo de peso	Unidad de medida	Kilogramos		
		3,5 a 5,3	5,5 a 9,0	9,3 a 15
Edad	Días	14-20	21-32	33-42
Peso medio	Kg	-	7,30	10,78
Ganancia	Kg/día	-	0,324	0,368
Lisina Digestible	g/día	-	5,73	6,63
Fósforo disponible	g/día	-	2,09	2,41
Fósforo digestible	g/día	-	2,02	2,33
Energía metabolizable	Kg/día	-	1343	1704
Energía metabolizable	Kcal/Kg	3450	3400	3375
Energía Neta	Kcal/Kg	-	2520	2480
Consumo	Kg/día	-	0,395	0,505
Nutrientes				
Proteína Cruda Total	%	-	21,42	19,87
Proteína Cruda Digestible	%	-	20,00	18,53
Calcio	%	0,888	1,068	0,973
Fósforo disponible	%	0,550	0,528	0,481
Fósforo digestible	%	0,500	0,511	0,466
Potasio	%	0,520	0,520	0,514
Sodio	%	0,280	0,224	0,219
Cloro	%	0,250	0,214	0,209

Fuente: Rostagno et al. (2017).

Tabla 6. (continuación). Requerimientos nutricionales de lechones en la fase pre-inicial.

Aminoácido Digestible				
Lisina	%	1,520	1,451	1,346
Metionina	%	0,426	0,406	0,377
Metionina + Cisteína	%	0,851	0,813	0,754
Treonina	%	1,018	0,972	0,902
Triptófano	%	0,289	0,276	0,256
Arginina	%	1,520	1,451	1,346
Valina	%	1,049	1,001	0,929
Isoleucina	%	0,836	0,798	0,740
Leucina	%	1,520	1,451	1,346
Histidina	%	0,502	0,479	0,444
Fenilalanina	%	0,760	0,726	0,673
Fenilalanina + tirosina	%	1,520	1,451	1,346
Nitrógeno Esencial Digestible	%	-	1,225	1,099
Aminoácido Total				
Lisina	%	1,655	1,649	1,530
Metionina	%	0,447	0,445	0,413
Metionina + Cisteína	%	0,910	0,907	0,841
Treonina	%	1,159	1,154	1,071
Triptófano	%	0,314	0,313	0,291
Arginina	%	1,638	1,632	1,514
Valina	%	1,159	1,154	1,071
Isoleucina	%	0,910	0,907	0,841
Leucina	%	1,605	1,599	1,484
Histidina	%	0,530	0,528	0,489
Fenilalanina	%	0,811	0,808	0,749
Fenilalanina + tirosina	%	1,589	1,616	1,499
Nitrógeno Esencial Total	%	-	1,339	1,243

Fuente: Rostagno et al. (2017).

Las características de la canal y la carne de los cerdos están sujetas a la influencia de diversos factores, algunos endógenos como la raza, el sexo y la edad, y otros exógenos como la nutrición. En el contexto de la nutrición animal, la consideración del equilibrio de aminoácidos es esencial, buscando principalmente satisfacer los requerimientos nutricionales. En este aspecto, los aminoácidos esenciales o limitantes juegan un papel vital, ya que deben ser adquiridos a través de la alimentación, dado que el animal no puede

producirlos en cantidades suficientes para cubrir sus necesidades (Rodriguez et al., 2023). (Tabla 7).

Tabla 7. Relación aminoácido/lisina utilizada para estimar los requerimientos de aminoácidos de cerdos en crecimiento

Fase Aminoácido		Pre- Inicial I e II		Inicial		Crecimiento		Terminación	
		Digestible	Total	Digestible	Total	Digestible	Total	Digestible	Total
Lisina	%	100	100	100	100	100	100	100	100
Metionina	%	28	27	29	28	30	29	30	30
Metionina + Cisteína	%	56	55	57	56	59	58	60	59
Treonina	%	67	70	65	68	65	68	65	68
Triptófano	%	19	19	19	19	20	20	20	20
Arginina	%	100	99	45	44	42	40	40	38
Valina	%	69	70	69	70	69	70	69	70
Isoleucina	%	55	55	55	55	55	55	55	55
Leucina	%	100	97	97	97	100	97	100	97
Histidina	%	33	32	32	32	33	32	33	32
Fenilalanina	%	50	49	50	49	50	49	50	49
Fenilalanina+Tirosina	%	100	98	100	98	100	98	100	98

Fuente: Rostagno et al. (2017).

La distribución de tejido magro y graso está principalmente determinada por la genética y el potencial inherente del animal. No obstante, es la velocidad de este aumento la que se regula a través de un programa de nutrición. Es esencial que la ingesta diaria de aminoácidos sea suficiente y esté equilibrada para respaldar la formación de proteínas. La lisina es el aminoácido limitante inicial para el crecimiento, los requerimientos de cada aminoácido esencial se expresan en relación con la lisina. La proteína ideal se refiere al perfil preciso de aminoácidos esenciales presente en la dieta. (Ferreira et al., 2005) (Tabla 8).

Tabla 8. Desempeño y requerimiento nutricional de fósforo.

Edad días	Peso Kg	Ganancia Kg/día	Consumo Kg/día	Pdisp g/día	Pdisp. %	Pdig g/día	Pdig. %	Calcio %
Machos enteros								
28	7,78	0,301	0,364	2,005	0,550	1,942	0,533	1,113
42	13,49	0,445	0,592	2,978	0,503	2,884	0,488	1,018
56	21,34	0,600	0,893	4,031	0,451	3,905	0,437	0,913
70	31,28	0,745	1,242	5,051	0,407	4,895	0,394	0,822
84	43,02	0,867	1,622	5,940	0,366	5,758	0,355	0,741
98	56,1	0,954	1,995	6,628	0,332	6,427	0,322	0,672
112	70	1,002	2,325	7,084	0,305	6,874	0,296	0,617
126	84,17	1,012	2,584	7,313	0,283	7,100	0,275	0,573
140	98,14	0,991	2,761	7,340	0,266	7,132	0,258	0,539
154	111,54	0,944	2,856	7,205	0,252	7,007	0,245	0,511
168	124,09	0,880	2,880	6,953	0,241	6,768	0,235	0,489
182	135,62	0,804	2,851	6,622	0,232	6,453	0,226	0,471

¹ Media de % Ca calculado multiplicando el % de P disponible por el factor 2,03 y el % de P día por el factor 2,08

Fuente: Rostagno et al. (2017).

2.1.8 Importancia de la alimentación balanceada en la producción porcina

La alimentación en la cría de cerdos representa aproximadamente el 65% de los costos de producción, lo que la convierte en una prioridad esencial. La formulación de un alimento debe cumplir con las normativas oficiales que se encuentren vigentes en cada país para su fabricación y utilización. No es suficiente que una dieta satisfaga las necesidades nutricionales de los cerdos; Además, se debe asegurar que el alimento sea fácil de almacenar y suministrar, considerando la diversidad de instalaciones, como comederos y bebederos, utilizados en las diferentes etapas de cría de los cerdos. Sin embargo, la formulación de una dieta tiene como objetivo principal garantizar que contenga los nutrientes necesarios en las cantidades correctas y equilibradas, teniendo en cuenta factores como el peso, edad, sexo la etapa fisiológica, potencial genético, época del año estado de salud, objetivos productivos y de producto final, así como las restricciones legales. Una vez formulada, el siguiente paso es asegurar que la elaboración se realice bajo condiciones que garanticen la inocuidad, trazabilidad y eficiencia en los costos. Este desafío se agrava por la necesidad del cumplimiento de normativas ambientales relacionadas con la alimentación y el bienestar animal (García y Contreras, 2012).

A lo largo de un extenso periodo, los seres humanos han empleado el cerdo como una fuente esencial de proteínas y grasas. Después de su proceso de domesticación, la cría solía llevarse a cabo de manera extensiva. Sin embargo, en las últimas décadas, se ha observado una intensificación drástica en la producción porcina. Estos cambios están directamente relacionados con las nuevas demandas del mercado, donde se ha dado prioridad a los cortes magros. Como consecuencia, se ha iniciado una selección de animales basada en consideraciones como las características de la canal, la eficiencia productiva y reproductiva. La expresión del valor nutricional de una ración, alimento o nutriente puede lograrse mediante el coeficiente de digestibilidad, que representa la proporción del alimento que no se excreta y se presume, por ende, ha sido absorbida (Galeano, 2012).

2.1.9 Harina de cáscara de arroz como suplemento alimenticio

La utilización de residuos alimentarios se presenta como una opción significativa para obtener recursos que podrían parcialmente satisfacer las necesidades globales de energía, alimentos y materiales. Sin embargo, en la actualidad, casi todos estos residuos no se aprovechan de manera efectiva. Las prácticas actuales de gestión de los residuos provenientes de la industria agroalimentaria para su valorización abarcan la alimentación animal, compostaje, incineración y vertido en vertedero. La alimentación animal suele ser la vía más rentable, aunque en ocasiones se ve limitada por regulaciones y la naturaleza del producto generado en el proceso (Almarche, 2018). (Tabla 9).

Tabla 9. Propiedades físico-químicas de los subproductos más utilizados

Material lignoceluloso	% (w/w) BS Celulosa	% (w/w) BS Hemicelulosa	% (w/w) BS Lignina
Cascarilla de arroz	39,05 25,89 - 35,5	18,1 - 21,35	22,80 18,20 - 24,6
Bagazo de caña	48,81	24,42	25,82
Desechos cítricos (Bagazo y cáscara)	20,63 16,2 ± 0,5	10,86 13,8 ± 0,30	2,62 1,0 ± 0,30
Subproductos de Plátano (Cáscara de banano)	13,20	14,80	14,00

Fuente: Sánchez et al. (2010).

Los residuos que merecen especial atención debido a su importancia, tanto cuantitativa como cualitativa, son aquellos derivados de la fabricación del aceite de oliva (orujo, alpechines, alperujo), del proceso de obtención de zumo, del procesamiento de cereales como el arroz (medianos, salvado, cascarilla), de la extracción de aceites de semillas (cáscaras), de la elaboración de frutos secos, de la industria y fabricación de malta y cerveza. Los residuos lignocelulósicos están principalmente compuestos por lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina y almidón, presentes en cantidades variables (Sánchez et al., 2010).

2.1.10 Composición nutricional de la harina de cáscara de arroz

Carrillo et al. (2013) indican que los residuos generados durante la cosecha de arroz representan un subproducto problemático, ya que su eliminación en la fase post-cosecha implica costos elevados y carece de aprovechamiento significativo. La abundancia de cáscaras de arroz y otros residuos lignocelulósicos tanto a nivel nacional como global, combinada con su limitado empleo y bajo costo, los posiciona como materias primas alternativas excelentes y prometedoras.

La acción predominante entre los agricultores es la incineración, generando una alta concentración de emisiones al aire y provocando la contaminación del lugar y áreas adyacentes con partículas y gases producidos por la combustión, esta práctica ha sido adoptada de manera generalizada por los agricultores en los campos de arroz en todo el mundo (Vera et al., 2015).

La composición química de la cáscara de arroz presenta variaciones que dependen de factores geográficos, condiciones atmosféricas y del uso de sustancias sintéticas durante su cultivo. Este material está principalmente constituido por un 32% de celulosa, un 21% de hemicelulosa, un 22% de lignina y un 15% de cenizas minerales. Los compuestos de estas cenizas corresponden a: 96,34 % de SiO₂, 0,45% de MgO, 11 % de K₂O, 0,20% de Fe₂O₃, 0,41% de CaO, 0,41% de Al₂O₃ y 0,08% de MnO₂ (Rivera, 2018) (Tabla 10).

Tabla 10. Composición química de la cascarilla de arroz y de las cenizas de la cascarilla de arroz.

Cascarilla de arroz		Ceniza de cascarilla de arroz	
Componente	%	Componente	%
Carbono	39,1	Ceniza de sílice (SiO ₂)	94,1
Hidrógeno	5,2	Oxido de calcio (CaO)	0,55
Nitrógeno	0,6	Oxido de magnesio (MgO)	0,95
Oxígeno	37,2	Oxido de Potasio (K ₂ O)	2,1
Azufre	0,1	Oxido de Sodio (Na ₂ O)	0,11
Cenizas	17,8	Sulfato	0,06
		Cloro	0,05
		Oxido de titanio (TiO ₂)	0,05
		Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,12
		Otros componentes (P ₂ O ₅ F ₂ O ₃)	1,82
Total	100	Total	100

Fuente: Prada y Cortés (2010).

Además, al observar el grano de arroz, se distinguen diversas partes, como la cascarilla, el salvado, el germen y el endospermo. El endospermo almidonoso constituye el 72% del volumen del grano, mientras que la cascarilla abarca el 20%, y el 8% restante corresponde al pericarpio o salvado de arroz. La cascarilla desempeña un papel esencial al mantener el grano en una condición de impermeabilidad y termoestabilidad, evitando el contacto directo con el aire y previniendo su degradación (Figura 5) (Hincapié, 2017).



Figura 5. Descripción de las partes de los granos de arroz.

Fuente: Hincapié (2017).

2.1.11 Estudios previos sobre el uso de la harina de cáscara de arroz en la alimentación porcina

La utilización de cascarilla de arroz como suplemento puede resultar beneficioso para mejorar el bienestar de los cerdos ibéricos antes de la fase de montanera. Dada la predisposición genética de estos cerdos a la obesidad, la alimentación durante el período previo a la montanera se vuelve crucial. Introducir la cascarilla de arroz como suplemento, un subproducto abundante y económicamente viable, antes de la montanera puede incrementar la sensación de saciedad, disminuyendo así el estrés derivado del hambre y la competencia entre los animales. Estos efectos tienen el potencial de reducir la variabilidad en la ganancia de peso, contribuyendo a mejorar la uniformidad de la canal y, en consecuencia, las condiciones para la venta (García et al., 2017).

2.1.11.1 Producción porcina

La producción porcina a nivel global experimenta un constante crecimiento, siendo la carne de cerdo la más consumida a nivel mundial. Este impacto se refleja tanto en la cantidad de cerdos criados como en la producción total de carne. En muchos países, tanto desarrollados como en desarrollo, la carne de cerdo constituye una fuente crucial de proteína para la población (Montero et al., 2015).

La industria porcícola es una actividad económica de gran relevancia a nivel mundial, ya que la carne de cerdo desempeña un papel fundamental como fuente de proteína animal para el consumo humano. La producción mundial de carne de cerdo alcanzó 109.9 millones de toneladas en 2020, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2020).

En términos de consumo, se registró un consumo global de alrededor de 109.6 millones de toneladas de carne de cerdo en el mismo año. La carne de cerdo se ha convertido en una de las carnes rojas más populares del mundo, con una demanda que ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas. Este auge se atribuye principalmente a cambios en los hábitos de consumo, especialmente en países en desarrollo con economías en rápido crecimiento. El aumento de los ingresos ha permitido a la población de estos países acceder a una mayor variedad de alimentos, incluyendo la carne de cerdo, que se percibe como una opción sabrosa, versátil y relativamente accesible (Mendoza, 2014).

Los principales países productores de carne de cerdo, como China, Estados Unidos, Brasil, Alemania y España, representan más del 60% de la producción mundial. China destaca como el mayor productor y consumidor a nivel mundial, aunque su industria porcina ha enfrentado desafíos significativos en los últimos años, como la propagación de la peste porcina africana, afectando considerablemente la producción y oferta de carne de cerdo en el país (Lemes de Campos y Santos, 2007).

En Estados Unidos, la producción porcina se concentra en estados como Iowa, Carolina del Norte, Minnesota e Illinois, y se caracteriza por su alta tecnificación y la presencia de numerosas granjas especializadas. Brasil, por su parte, se destaca como uno de los principales productores y exportadores de carne de cerdo, con una producción focalizada en los estados del sur del país.

Si bien la producción y consumo de carne de cerdo ha experimentado un notable crecimiento en el país, existe una marcada diferencia entre los sistemas de producción. Un reducido 3% de los productores porcinos opera con tecnología avanzada en manejo, sanidad y mejoramiento genético, mientras que el 97% restante, compuesto por pequeños y medianos productores, enfrenta limitaciones en estas áreas. Esta disparidad se refleja en los camales nacionales, donde se sacrifica una variedad de cerdos con diferencias significativas en calidad y rendimiento. La edad, el sexo, el valor genético, los programas sanitarios, la alimentación y el peso al sacrificio son algunos de los factores que influyen en estas variaciones (Segarra et al., 2018).

2.1.11.2 Producción nacional

La producción porcina en Ecuador es una actividad económica importante, principalmente desarrollada en las provincias de la costa y la sierra del país. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador, la producción de carne de cerdo en 2020 alcanzó aproximadamente 220 mil toneladas. En Ecuador, la producción porcina se caracteriza por la participación predominante de pequeños y medianos productores, dedicados a la cría de cerdos en sistemas semi-intensivos e intensivos. Los sistemas semi-intensivos, basados en la alimentación con pastos, forrajes, granos y subproductos agroindustriales, son los más comunes. Por otro lado, los sistemas intensivos, que controlan el ambiente y la alimentación de los cerdos, se centran en granjas especializadas (Abarca, 2018).

La producción porcina en Ecuador enfrenta desafíos significativos, incluyendo el control sanitario y la calidad de los productos. La falta de un sistema de control sanitario efectivo puede propiciar la propagación de enfermedades y afectar la calidad de la carne. Además, la falta de tecnología y acceso a financiamiento limita la capacidad de los productores para mejorar la productividad y calidad. La industria porcina ecuatoriana atraviesa una situación compleja. Durante la primera mitad de 2016, las principales explotaciones del país sufrieron una reducción del 20% en su producción, impactando especialmente a las pequeñas empresas. Entre las causas principales se encuentran el contrabando de cerdos desde Perú y Colombia, y el aumento en el costo de producción debido al alza en los precios de las materias primas (Abarca, 2018).

En la actualidad, Ecuador representa un pequeño porcentaje de la producción porcina a nivel mundial (0,19%) y continental (1,12%), con una producción anual de carne que ronda las 231.380 toneladas. Aunque el consumo de carne de cerdo ha aumentado en Ecuador en los últimos años, impulsado por una mayor disponibilidad y aceptación, la producción nacional no es suficiente para cubrir la demanda interna (Abarca, 2018).

2.1.11.3 Sistemas de producción

En Ecuador, los sistemas de producción pecuaria se clasifican en tecnificados, semitecnificados y tradicionales o de traspatio, dependiendo del contexto agroecológico, tecnológico y socioeconómico. A nivel global, el sistema de producción animal de traspatio, patio o solar, donde se crían animales en los alrededores de las viviendas, es una práctica común en diversos grupos étnicos y está profundamente arraigada en muchas comunidades. Los sistemas semi-intensivos, comunes en zonas rurales, permiten que los cerdos se críen en corrales al aire libre o establos, teniendo acceso a pastos, forrajes, granos y subproductos agroindustriales. Aunque estos sistemas pueden incluir alimentación suplementaria, suelen tener menores costos de producción, aunque con tasas de crecimiento más lentas en comparación con sistemas intensivos (Montesdeoca, 2017).

Los sistemas intensivos, por otro lado, se caracterizan por ser completamente artificiales, creados por el ser humano para confinar a los animales en condiciones controladas. La infraestructura diseñada para este fin busca garantizar el bienestar y la productividad de los animales mediante la regulación de la temperatura, la iluminación y la humedad. Utilizan

tecnologías avanzadas como ventilación controlada, alimentación automatizada y separación por etapas de desarrollo. Estos sistemas emplean concentrados comerciales y proteínas de alta calidad, permitiendo un crecimiento más rápido y mayores rendimientos de carne por animal (Montesdeoca, 2017).

2.1.12. Genética y características de cerdos raza Pietrain-Duroc

Desde la década de 1930, los esfuerzos en la mejora genética porcina se han centrado en optimizar el rendimiento de la carne, con un énfasis particular en la reducción de la grasa dorsal. Esta búsqueda por carne magra ha impulsado avances significativos en la calidad de la carne porcina a lo largo de los años (Do, 2007).

En muchas regiones, la cría de cerdos se basa en cruces o híbridos entre diferentes razas, en lugar de razas puras. Esto se debe a que las crías producto de estos cruces suelen mostrar características superiores a sus progenitores en términos de productividad. Entre las ventajas de los cruces encontramos mayor rendimiento, alta eficiencia alimenticia, mayor producción de carne magra, excelente comportamiento reproductivo y una naturaleza dócil. Un ejemplo notable es el cruce entre Pietrain y Duroc, que combina las fortalezas de ambas razas. Este híbrido produce un animal robusto y versátil, que hereda la resistencia y velocidad de crecimiento del Duroc, junto con la excelente conformación muscular del Pietrain, la descendencia de este cruce presenta un crecimiento acelerado, una conformación muscular superior y una alta ganancia diaria de peso (Hernández, 2021).

2.1.12.1 Origen y características de la raza Pietrain

La raza de cerdos Pietrain tiene su origen en Bélgica y durante la Segunda Guerra Mundial estuvo al borde de la extinción debido a la escasez de la grasa que la caracteriza. Estos cerdos se distinguen por ser más compactos, con un lomo ancho y espaldas musculosas (Espinosa, 2013).

El cerdo Pietrain, originario de Bélgica (1920), es producto de diversos cruces, su nombre proviene del lugar donde se observó por primera vez. Se caracteriza por un perfil facial cóncavo, orejas de tipo asiático y un pelaje blanco-amarillo con manchas negras y rojizas irregulares. Esta raza es muy apetecida por su alta proporción de carne magra y un contenido mínimo de grasa en la canal. Su función principal es como padre terminal o

finalizador, con un crecimiento gradual y resultados reproductivos moderados, pero con una eficiente conversión alimenticia (Hernández, 2020).

La ascendencia de la raza Pietrain proviene principalmente de porcinos bien conformados de la raza Normando, representando aproximadamente el 80% de su genética, con el restante 20% atribuido a una mutación genética. La mejora de esta raza se llevó a cabo en ocho estaciones de rendimiento y selección ubicadas en Bélgica. El cerdo Piétrain belga se posiciona como la mejor opción como padre terminal en la fase de crecimiento y acabado de la producción porcina. Su bajo índice de conversión alimenticia (FCR) y su excepcional magrez lo convierten en la raza predilecta para obtener carne de alta calidad con un mínimo de grasa (De Cuyper et al., 2019). (Figura 6).



Figura 6. Cerdo raza Pietrain.

Fuente: Comunidad profesional porcina (2024).

Los cerdos Pietrain exhiben una cabeza de longitud corta, de forma recta cóncava, relativamente liviana, con carrillos ligeramente desarrollados. Sus orejas, pequeñas en tamaño, apuntan horizontalmente hacia adelante, con las puntas ligeramente curvadas hacia arriba, el cuello es corto y presenta una papada escasa, en cuanto al tronco, las espaldas de estos cerdos son notoriamente prominentes, poseyendo una musculatura bien adherida al cuerpo. El dorso, largo y ligeramente abombado, se caracteriza por su amplitud, con una leve depresión longitudinal y delimitado por dos grandes masas musculares (Ansón, 2022). El lomo de los cerdos Pietrain se destaca por su musculatura pronunciada, amplitud y grosor, mientras que el tórax, ancho y cilíndrico, exhibe una musculatura fuerte con costillas notablemente arqueadas. El abdomen, aunque poco desarrollado, se mantiene bien sostenido, con una línea inferior paralela al dorso y al menos 12 mamas normales

distribuidas de manera regular, la grupa es distintiva, corta y con una inclinación descendente, los muslos y las nalgas son amplios, llenos y redondeados, descendiendo hasta el corvejón, y la cola se inserta en una posición baja. En cuanto a las extremidades, estas son cortas y delgadas, con pezuñas cerradas (Zambrano, 2019). (Tabla 11).

Tabla 11. Características varias de la raza Pietrain.

Características productivas de la raza Pietrain	
Ganancia media diaria de los 20 a 90 kg (g/día).	575
Índice de conversión 20-90 kg (kg/kg).	3,25
Lechones vivos/parto	9-9,5
Lechones destetados/parto	7-8
Características cárnicas de la raza Pietrain	
Rendimiento de la canal a los 90 kg (%)	77
Longitud de la canal (cm)	92
Piezas nobles (%)	68
Estimado de magro en la canal (%)	60

Fuente: Hernández (2021).

2.1.12.2 Origen y características de la raza Duroc

La raza de cerdo Duroc tiene su origen en Estados Unidos y surgió en la segunda mitad del siglo XIX mediante la cruce de cerdos de diversas razas, entre las que se incluyen el Red Guinea, el Duroc Jersey, el Old Duroc y el Black Republican. El propósito primordial era criar una raza que destacara por la calidad superior de su carne y que mostrara resistencia a las enfermedades comunes de la época (Choi et al., 2015).

El nombre "Duroc" se derivó del cerdo Duroc Jersey, que desempeñó un papel crucial en el desarrollo de la raza, los cerdos Duroc Jersey fueron originalmente criados en Nueva Jersey en el siglo XIX, caracterizándose por su resistencia a enfermedades y la excelencia de su carne. En la década de 1920, la raza Duroc se reconcilió como una de las razas preferidas en Estados Unidos, gracias a la extraordinaria calidad de su carne y su capacidad de adaptación a diversos entornos y condiciones de manejo (Taylor y Roese, 2005).

El cerdo Duroc, reconocido como una de las razas porcinas más notorias y utilizadas en la industria, ha sido objeto de una meticulosa selección artificial con el objetivo de optimizar tanto su productividad comercial como la calidad de su carne. En la actualidad, esta raza

goza de una creciente popularidad como padre terminal en diversos sistemas de cría mixta, gracias a su notable desempeño en cuanto a crecimiento, eficiencia en la conversión de alimento y conformación corporal, además de otras características ventajosas para la calidad de la canal y del producto final (Zhou et al., 2023).

La raza porcina Duroc, el pelaje se caracteriza por sus diferentes tonalidades de rojo, con una notable capacidad de adaptación a diversos climas. Sus orejas son cortas y erguidas, con una leve curvatura en la punta, y su perfil facial presenta una línea recta, acompañado de un cuerpo musculoso y robusto. Además, presenta, un hocico largo y una cara ligeramente arrugada (Hernández, 2021).

En términos de comportamiento, la raza Duroc es conocida por su docilidad y facilidad de manejo, son animales sociales que disfrutan de la compañía de otros de su especie, adaptándose bien tanto a sistemas de cría intensiva como extensiva. En cuanto a su rendimiento, exhiben un crecimiento rápido y alta eficiencia en la conversión de alimentos (Diao et al., 2018), lo que los convierte en una raza altamente productiva. Asimismo, destacan por su capacidad excepcional de deposición de grasa y carne de alta calidad, caracterizada por un elevado contenido de ácido oleico (Smith et al., 1988). (Figura 7).



Figura 7. Cerdo raza Duroc.

Fuente: Comunidad profesional porcina (2024).

La cabeza de los cerdos Duroc es pequeña en proporción al tamaño corporal, ancha entre los ojos, con una frente ligeramente cóncava y un hocico corto y afinado, siendo algo ancho y levantado. Las orejas, de tamaño mediano, son finas, puntiagudas y se orientan hacia adelante y hacia arriba, con las puntas dobladas hacia abajo.

El cuello es corto, profundo y levemente arqueado, con una papada pequeña y fina. El tronco, de longitud media, es profundo y arqueado, con la línea dorsolumbar describiendo una forma convexa. La espalda es ancha, bien desarrollada y se une correctamente al tronco, mientras que el lomo es convexo, ancho, largo y muy musculoso (Taylor y Roese, 2005).

La grupa es inclinada y ancha, con un jamón bien desarrollado. Las extremidades son largas, medianamente finas y rectas, con cuartillas cortas y rectas y pezuñas fuertes. Presenta una piel muy sonrosada. El color del pelo presenta una variabilidad desde el rojo-cereza hasta el amarillo ladrillo, con degradaciones en ciertas áreas como el canal exterior, borde inferior del cuello, región esternal y ventral, y cara interna de las extremidades (Tabla 12).

Tabla 12. Características de la raza Duroc de cerdos

Características productivas de la raza Duroc	
Ganancia media diaria de los 20 a 90 kg.	695 (g/día)
Índice de conversión 20-90 kg. (kg/kg)	3,1
Lechones vivos/parto	10-10,5
Lechones destetados/parto	De 8-10
Características cárnicas de la raza Duroc	
Rendimiento de la canal a los 90 kg	74 (%)
Longitud de la canal	93,5 cm
% piezas nobles	61 (%)
% estimado de magro en la canal	52 (%)

Fuente: Hernández (2021).

La raza Pietrain-Duroc se caracteriza por su elevada rusticidad, buena prolificidad (10,3 lechones nacidos, 9,6 lechones destetados y 19-20 lechones/cerda/año), altos rendimientos en cebo y una calidad de carne aceptable. En la actualidad, la raza Duroc ha alcanzado popularidad como macho terminal, especialmente en regiones donde no se valora excesivamente la conformación (Pedersen et al., 2019).

2.1.12.3 Cruces e hibridación en la producción de cerdos Pietrain-Duroc

Las granjas porcinas comerciales implementan el cruce entre razas puras para obtener híbridos con características superiores a sus progenitores. Este proceso mejora notablemente la productividad: aumenta la cantidad de lechones, eleva su peso al destete y optimiza la conversión alimenticia. Todo esto permite obtener cerdos listos para el mercado en menos tiempo (Castillo, 1984).

Las granjas eligen el tipo de cruzamiento más adecuado a sus necesidades:

- **Industrial:** combina razas con alta prolificidad y crecimiento rápido para maximizar la producción de carne.
- **Absorbente:** busca fijar las características de una raza dominante en la población porcina.
- **Alternante:** utiliza dos razas en un ciclo continuo para aprovechar las ventajas de ambas.
- **Triple cruzamiento:** combina tres razas para obtener un híbrido con características específicas.

Los cruces en la producción porcina comercial son una herramienta poderosa para optimizar la eficiencia y la rentabilidad de la industria. La raza Pietrain es comúnmente empleada como progenitor en cruces comerciales, siendo reconocida por sus elevados niveles de magrez. Se ha observado que, al utilizar cruces con Duroc, se puede incrementar el contenido de grasa intramuscular en la carne. La calidad de la canal y la carne puede variar entre razas distintas, ya que presentan características diferentes (Glinoubol et al., 2015).

Los cruces e hibridación en la producción de cerdos Pietrain-Duroc son estrategias comúnmente utilizadas en la industria porcina para aprovechar las características deseables de ambas razas. La raza Pietrain es conocida por su capacidad para producir carne magra y de alta calidad, mientras que la raza Duroc se caracteriza por su rápido crecimiento y eficiencia en la conversión de alimentos. Al cruzar estas dos razas, se busca lograr una combinación que maximice las ventajas de ambas en términos de rendimiento, calidad de carne y eficiencia de producción (Kusec et al., 2004). (Figura 8).



Figura 8. Cerdos raza Pietrain-Duroc.

La selección del verraco desempeña un papel crucial en los programas de cría, ya que puede impactar una variedad de características, desde la estructura de la canal hasta la calidad de la carne. La elección de la línea de verracos se basa principalmente en el conocimiento de las cualidades necesarias para obtener el producto deseado. Aunque la raza Pietrain es común en programas orientados a obtener canales con alto contenido de carne magra, se reconoce que la calidad de la carne a menudo es baja. Por lo tanto, no se recomienda cuando la carne está destinada a productos cárnicos secos/curados, altamente valorados en el mercado. El uso creciente del Duroc como raza de verracos terminales se debe a su capacidad para proporcionar a los engordadores características de calidad de carne que garantizan un producto final de alta calidad sin una marcada disminución en el contenido magro de la canal. Esta raza es apreciada por su excepcional tasa de crecimiento, contenido de grasa intramuscular y otras cualidades de calidad de la carne (Kusec et al., 2004) (Tabla 13).

Tabla 13. Comparación de algunos parámetros productivos de la línea Pietrain x Duroc vs Pietrain puro.

Parámetro	Pietrain puro	Duroc x Pietrain
Peso inicial kg	26	25
Peso final Kg	121	118
Conversión alimentaria	2,51	2,43
Ganancia media diaria g/día	814	857
Semanas en alimentación	17	16
Grasa dorsal mm	13,5	12,5

Fuente: Hernández (2021).

2.1.13. Impacto de la dieta en el crecimiento porcino

Con el creciente interés en la conexión entre la nutrición y la salud, los consumidores están incrementando la demanda de productos cárnicos que cumplan con estándares de alta calidad. Se acepta comúnmente que las estrategias nutricionales desempeñan un papel fundamental como los principales factores que influyen en la calidad de la carne de cerdo (Li et al., 2018).

La calidad de la canal en cerdos está influenciada significativamente por la disponibilidad de energía y proteínas en la dieta, ya que estos factores nutricionales representan más del 80% del costo total en las dietas prácticas para cerdos (Fracaroli, 2017).

La variabilidad en las respuestas de los cerdos a distintos regímenes nutricionales, influenciada por las variaciones ambientales a las que están expuestos, resalta la importancia de investigaciones destinadas a identificar patrones de alimentación económicamente viables. Dado que las fuentes de proteínas utilizadas actualmente constituyen los componentes más costosos de las raciones para cerdos, se hace necesario formular dietas que optimicen la eficiencia de utilización por parte de los animales, al tiempo que se minimiza la excreción de nitrógeno, una estrategia fundamental para alcanzar la máxima eficiencia de crecimiento en cerdos es la suplementación de aminoácidos mediante la formulación equilibrada de la ración, evitando tanto excesos como deficiencias (Ferreira et al., 2005). (Tabla 14).

Tabla 14. Composición química de las dietas balanceadas a base de maíz en las diferentes etapas de crecimiento de cerdos.

Parámetros	Tipo de dieta		
	Crecimiento I (15-30 kg)	Crecimiento II (30-60 kg)	Crecimiento III (60-100 kg)
Ingredientes (%)			
Maíz	70,81	74,55	75,88
Harina de soya	19,9	15,9	19,3
Harina de pescado	6	6	1,9
CaCO ₃	1,48	1,7	1,1
CaPO ₄ H.2H ₂ O	0,91	0,93	0,9
NaCl	0,4	0,4	0,4
Vitaminas y minerales	0,5	0,5	0,5
DL-metionina	-	0,02	0,02
Análisis químico (%)			
Materia seca	89,05	90,75	90,42
Cenizas	7,7	5,86	5,33
Fibra cruda	3,68	2,98	3,01
Extracto etéreo	4,74	5,08	5,06
Nitrógeno	3,48	3,58	3,33
Energía bruta (kjoule/g)	15,17	15,35	15,5
Composición química estimada			
ED. Cerdos (kjoule/g)	14,19	14,01	14,15
Nitrógeno (%)	3,06	2,81	2,66
Fibra cruda (%)	2,72	2,81	2,78
Fósforo (%)	0,44	0,6	0,34
Calcio (%)	1,08	1,33	0,83
Lisina (%)	1,06	0,95	0,85
Lisina Digestible (%)	9,94	0,85	0,75
Metionina (%)	0,37	0,35	0,3
Metionina Digestible (%)	0,34	0,32	0,27
Ac. Linoleico (%)	1,42	1,45	1,51
Relación Ca/P	2,43	2,22	2,44
Provee de lo siguiente por kg de dieta: 600 UI de vitaminas A; 160 UI de vitaminas D3; 20 UI de vitaminas E; 2 mg de tiamina; 3mg de riboflavina; 15mg de pantotenato de calcio; 25 pg de vitaminas B ₁₂ ; 300 mg de cloruro de colina; 0,5 mg de ácido fólico; 2 mg de bisulfato sódico de menadiona; 0,40 mg de cobalto; 10 mg de hierro; 0,5 mg de yodo.			

Fuente: Modificado a partir de González (2006).

2.1.14. Efecto de los nutrientes (proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales) en el crecimiento porcino

En la industria porcina, si se satisfacen los requerimientos de aminoácidos esenciales (EAA) y nitrógeno total, existe la posibilidad de reducir los niveles de proteína bruta en la dieta. Esto se debe a que, fundamentalmente, los requisitos de proteínas en cerdos se centran en los aminoácidos (Wang et al., 2022).

Los beneficios de una dieta equilibrada en aminoácidos y baja en proteínas pueden satisfacer las necesidades de los cerdos al reducir el nivel de proteínas en la dieta y agregar aminoácidos libres. Esta estrategia puede mejorar la tasa de utilización de las proteínas en los piensos para cerdos, reducir los costos de producción y disminuir la presión ambiental. Su aplicación en la industria de la cría es de gran importancia. Las dietas con bajos niveles de proteínas tienden a disminuir la cantidad de proteínas no digeridas que son fermentadas por microbiota en el intestino posterior, lo que a su vez reduce la incidencia de trastornos intestinales, como la diarrea post-destete (Minussi et al., 2023).

Disminuir el contenido de proteína cruda (PC) en la dieta en al menos el 3% y suplementar con aminoácidos cristalinos (AAC) ofrece ventajas significativas, como el ahorro de ingredientes proteicos, la disminución de la excreción de nitrógeno, la reducción de los costos de alimentación y la mitigación del riesgo de trastornos intestinales. Todo esto se logra sin comprometer el crecimiento de los cerdos en comparación con las dietas convencionales (Wang et al., 2019).

Las grasas y ácidos grasos desempeñan un papel crucial en la calidad y salud de la carne, siendo esencial elegir opciones de producción que optimicen ambos aspectos (Alonso et al., 2009).

Investigaciones previas han evidenciado que el consumo de dietas con niveles bajos de proteínas resulta en un aumento de la deposición de grasa en la canal de los cerdos. Esta tendencia se atribuye principalmente a la disminución de los procesos de desaminación y transaminación de aminoácidos en cerdos alimentados con dietas bajas en proteínas. En consecuencia, la energía dietética utilizada para el metabolismo de proteínas y aminoácidos disminuye, permitiendo que más energía se deposite en forma de grasa (Zhao et al., 2019).

2.1.14.1 Evaluación de la calidad de las dietas en términos de su impacto en el crecimiento

Los requerimientos nutricionales experimentan variaciones según el estado fisiológico en cada fase de producción, como el crecimiento y la etapa de acabado. A menudo, se sigue una práctica común de proporcionar una única dieta a los cerdos durante toda la fase fisiológica. No obstante, cuando la dieta no se encuentra adecuadamente equilibrada para satisfacer los requerimientos específicos de las líneas genéticas, existe el riesgo de que los animales experimenten sobrealimentación o desnutrición (Souza et al., 2023).

Las etapas de producción porcina se dividen principalmente en dos categorías: cerdos destinados al mercado y miembros del hato reproductor. El objetivo principal en las fases de producción de cerdos destinados al mercado es alcanzar el peso de sacrificio (90-100 kg) en el menor tiempo posible. Desde una perspectiva económica, es esencial reconocer que el tiempo máximo para alcanzar este peso en el mercado no debe superar los 170 días; no obstante, cualquier reducción en la duración resulta beneficiosa económicamente. Para lograr el tiempo óptimo de comercialización, es necesario que los cerdos alcancen una ganancia diaria de peso promedio superior a los 600 g desde su nacimiento hasta el momento de ser destinados al mercado. Cuando se trabajan con líneas genéticas magras, se observa una disminución de 10 a 20 días en el tiempo de comercialización para cualquier peso, con una ganancia promedio mínima de peso desde el nacimiento hasta el mercado de 650 g (Campabadal, 2009).

En la alimentación de cerdos, se dispone de una amplia gama de ingredientes para la formulación de dietas. El nivel de inclusión de estos ingredientes en la ración se determinará según la composición nutricional del producto, las restricciones nutricionales correspondientes a las diversas etapas productivas y los requisitos específicos de nutrientes que se pretendan satisfacer. Los ingredientes destinados a la confección de alimentos balanceados se pueden clasificar en cuatro categorías esenciales: fuentes de energía, proteínas, vitaminas y minerales, así como aditivos no nutricionales (Campabadal, 2009).

2.1.14.2. Efectos de la fibra en la dieta porcina

La inclusión de fibra en la dieta porcina tiene diversos efectos en la salud y el rendimiento de los cerdos. El valor nutritivo de los ingredientes para la alimentación porcina se refleja

en el coeficiente de digestibilidad, un indicador que expresa la cantidad de un nutriente que el animal absorbe a partir de un alimento específico. Un alto coeficiente de digestibilidad significa que el animal puede aprovechar mejor ese nutriente, lo que se traduce en un mejor crecimiento y desarrollo. Se ha observado que la fibra dietética influye en microbiota intestinal, promoviendo un entorno beneficioso para la salud gastrointestinal. Además, la fibra puede afectar la digestibilidad de los nutrientes, la tasa de crecimiento y la eficiencia alimentaria en cerdos. Sin embargo, la cantidad y el tipo de fibra, así como la fuente utilizada, son factores críticos que determinan los resultados. Se requiere una cuidadosa formulación de dietas para lograr un equilibrio óptimo entre los beneficios y posibles desafíos asociados con la inclusión de fibra (Caicedo et al., 2019).

2.1.14.3 Tipos de fibra dietética y su influencia en la digestión y la salud intestinal de los cerdos

En la actualidad, la salud intestinal se ha convertido en un tema crucial en la producción animal. Se busca un equilibrio en microbiota gastrointestinal que fomente un crecimiento óptimo del animal y prevenga la colonización de patógenos (Castillo et al., 2015). La inclusión de fibra dietética en las dietas de cerdos es esencial para mejorar la digestión y promover la salud intestinal. La fibra dietética se clasifica en diferentes tipos, cada uno con propiedades únicas que afectan la fisiología y el rendimiento del cerdo (González et al., 2022).

El uso de alimentos ricos en fibra ha resurgido por sus efectos positivos en la salud digestiva y el bienestar animal. Sin embargo, la fibra también reduce la absorción de nutrientes y energía en los cerdos. La fibra dietética es un componente crucial en la alimentación porcina, y su inclusión se ha reconocido como un factor determinante para la salud intestinal y el rendimiento productivo de los cerdos. Los resultados productivos en la crianza porcina dependen del tipo de fibra presente en la dieta. Sus componentes solubles e insolubles impactan de forma diferente el desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI) y, en consecuencia, la absorción de nutrientes (Martínez-Reina et al., 2020).

La fibra se clasifica en dos categorías principales: fibra soluble y fibra insoluble. Ambas desempeñan roles distintos en la digestión y el mantenimiento de un ambiente intestinal saludable.

a. Fibra soluble

La fibra soluble, como la pectina y las gomas, forma geles en presencia de agua, ralentizando la digestión y absorción de nutrientes. Investigaciones indican que la inclusión de fibra soluble puede modular la liberación de glucosa y mejorar la salud metabólica de los cerdos. Además, se ha observado que la fibra soluble favorece el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, mejorando la integridad intestinal y reduciendo el riesgo de enfermedades gastrointestinales (González, 2022).

b. Fibra insoluble

La fibra insoluble, como la celulosa y la hemicelulosa, aporta volumen al contenido intestinal, lo que estimula la motilidad y facilita la excreción de desechos. Diversos estudios han demostrado que previene el estreñimiento y mejora la calidad de las heces en cerdos. Además, al ser sustrato para la fermentación microbiana, contribuye a la formación de un ambiente colónico saludable (Bellacci, 2018). (Figura 9).

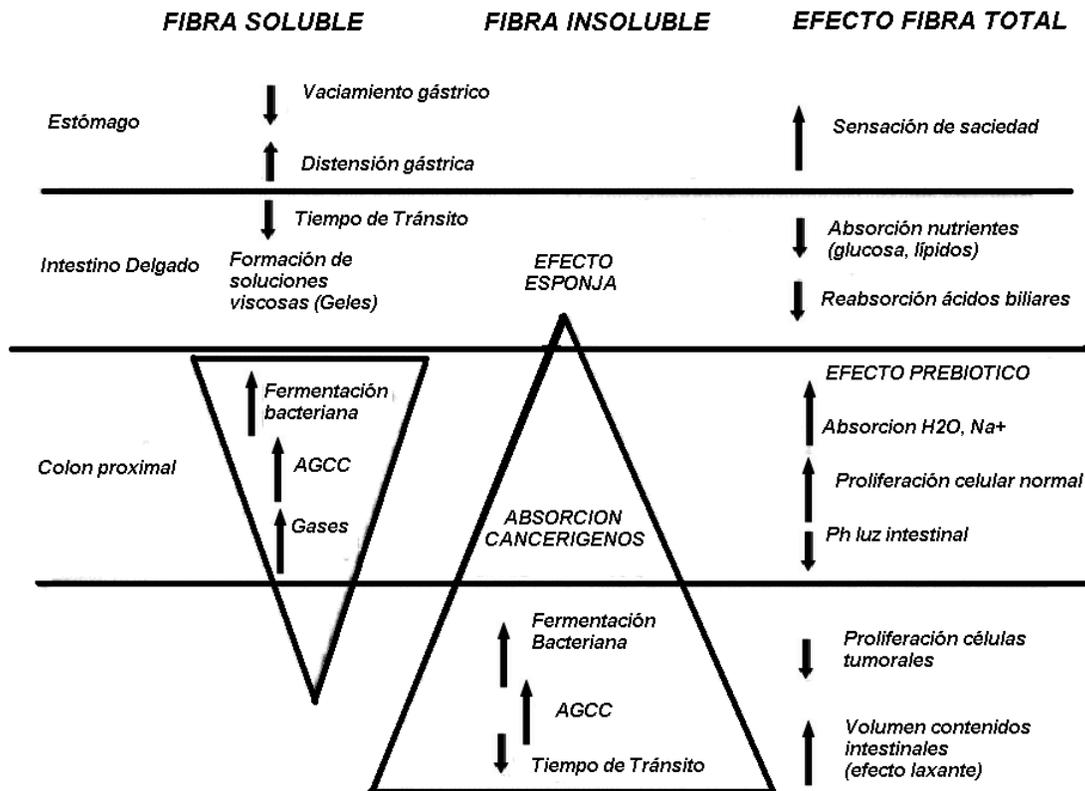


Figura 9. Efectos de las fibras solubles e insolubles sobre el tracto gastrointestinal.

Fuente: Bellacci (2018).

2.1.14.4 Impacto en la digestión

La inclusión de fibra en la dieta porcina tiene efectos significativos en la digestión. La fibra soluble retarda la velocidad de digestión, permitiendo una liberación gradual de nutrientes en el tracto gastrointestinal, lo que puede mejorar la eficiencia en la utilización de nutrientes. Por otro lado, la fibra insoluble estimula la masticación y la motilidad intestinal, favoreciendo una digestión más eficiente y reduciendo problemas como la formación de bolas de pelo en el estómago (González, 2022).

La dieta juega un papel crucial en microbiota intestinal de los cerdos, siendo la principal fuente de nutrientes para su metabolismo. La adición de carbohidratos fermentables a la dieta se ha convertido en una estrategia efectiva para regular la descomposición proteica microbiana en el epitelio intestinal. Esto reduce la población de enterococos y la concentración de ácidos volátiles de cadena ramificada en las heces, promoviendo un microbiota intestinal más saludable (Bellacci, 2018).

2.1.14.5 Utilización de subproductos agrícolas en la alimentación porcina

En diversas partes del mundo, la porcicultura ha experimentado una notable industrialización respaldada por el acceso a tecnologías avanzadas y recursos naturales como tierra, agua y cultivos. A pesar de ser una fuente preponderante de carne de cerdo a nivel global, esta industria porcina enfrenta desafíos en aumento en cuanto al acceso a alimentos convencionales, los cuales están compuestos principalmente por cereales (65-70%) y oleaginosas (15-20%) (Aragadvay et al., 2016).

Factores como la producción de biocombustibles, las influencias políticas y económicas en el mercado internacional, junto con los recientes cambios climáticos, han generado dificultades en la accesibilidad de estos productos tanto para la población humana como para una parte significativa del sector pecuario, especialmente en el caso de los monogástricos y rumiantes engordados en corrales. Resulta interesante notar que las aves y los cerdos representan las principales fuentes de proteína de origen animal consumidas a nivel mundial (Montero et al., 2015).

2.1.14.6 Otros subproductos agrícolas utilizados en la alimentación de cerdos

Los ingredientes alternativos con potencial económico para la alimentación de cerdos suelen derivar de subproductos obtenidos en diversas industrias, entre las que se incluyen el molido y procesados cereales y granos, repostería, panadería, cervecera y destilería, producción de bebidas, jugos y frutas, vegetales, grasas y aceites, lácteos, huevo y aves procesadas, así como subproductos de la industria restaurantera. Estos subproductos pueden ser empleados para reemplazar únicamente una parte de la proteína y energía proporcionadas en la dieta completa, lo que implica que no deben considerarse sustitutos totales de los cereales y la pasta de soja (Savón, 2005).

La cantidad adecuada a emplear de estos ingredientes alternativos dependerá de los requerimientos nutricionales de cerdos en sus distintas etapas productivas (Tabla 15), el costo y disponibilidad del ingrediente, la calidad de la proteína y perfil de aminoácidos, la digestibilidad de los nutrientes, la palatabilidad, la presencia de factores antinutricionales, la tasa de inclusión, la vida útil del producto, así como la edad de los cerdos que consumirán la dieta (Boggess et al., 2008).

Tabla 15. Requerimientos nutrimentales mínimos por etapa productiva.

Elemento	Hembras gestantes y machos	Hembras lactantes	Peso corporal por Kg					
			3 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 80	80-120
Energía (KcalEM/kg)	3265	3265	3265	3265	3265	3265	3265	3265
Proteína cruda (%)	12,43	17,85	26,00	23,70	20,90	18,00	15,50	13,20
Calcio (%)	0,75	0,75	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45
Fósforo (%)	0,60	0,60	0,70	0,65	0,60	0,50	0,45	0,40
Consumo diario (kg)	1,88	5,00	0,25	0,50	1,00	1,86	2,58	3,08
Los requerimientos deben ajustarse a las necesidades de cada granja en particular respecto de la genética, época del año, salud de la piara, instalación y otros factores.								

Fuente: Adaptado de NRC (1998).

Los ingredientes sustitutos o alternativos destinados a la alimentación de cerdos son evaluados principalmente considerando su contribución de energía y proteína, elementos nutricionales de mayor costo que incluyen el fósforo. En este contexto, se emplea el valor relativo como una métrica para comparar la eficacia de la energía y la proteína provenientes

de una fuente alternativa, en relación con el costo industrial de los valores estándar asociados al maíz y la pasta de soya.

2.1.14.7 Inclusión de harina de cascarilla de arroz en la dieta de los cerdos

La cascarilla de arroz es un subproducto de la molienda del arroz y puede ser utilizado como una fuente de fibra en la alimentación de los cerdos. Sin embargo, debido a que es muy baja en nutrientes, no puede ser utilizada como fuente única de alimento para los cerdos. La utilización de la cascarilla de arroz en la alimentación animal no es un tema nuevo, de hecho, tiene varios años de investigación y desarrollo. En algunos países, como en Asia, la cascarilla de arroz es considerada un recurso importante para la alimentación animal debido a su alta disponibilidad y bajo costo (García et al., 2017).

La harina de cascarilla de arroz presenta características ventajosas para la producción de concentrados en las fases de "Levante" y "Engorde" de los cerdos. Su bajo precio por tonelada la convierte en una alternativa económica frente a otros ingredientes. En el caso específico de la alimentación de cerdos, la harina de cascarilla de arroz ha sido utilizada como fuente de fibra en la dieta, ya que esta fibra insoluble en agua ayuda a mejorar la salud digestiva y reduce los problemas de estreñimiento en los animales. Además, la cascarilla de arroz es rica en minerales y vitaminas, lo que puede ayudar a mejorar la salud y el bienestar de los cerdos (Franco, 2016).

Sin embargo, es importante destacar que la cascarilla de arroz no es una fuente completa de nutrientes y, por lo tanto, no puede ser utilizada como la única fuente de alimento para los cerdos. Por lo tanto, es necesario combinarla con otros ingredientes que proporcionen proteínas, energía y otros nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo adecuado de los cerdos (Lozano, 2020).

Para formular un balanceado para cerdos a base de cascarilla de arroz, es necesario combinarla con otros ingredientes que proporcionen los nutrientes necesarios, tales como proteínas, carbohidratos y grasas. Algunos ingredientes que se pueden utilizar para formular este balanceado son la harina de soja, el maíz, el trigo, la cebada, la avena, entre otros. La fibra dietética insoluble presente en la cascarilla de arroz, al ser ingerida, no se digiere en el intestino y pasa directamente al torrente sanguíneo. Esta acción incrementa la

frecuencia y el volumen de las heces, regularizando el tránsito intestinal y previniendo el estreñimiento en los cerdos (Tartrakoon et al., 2017).

La cantidad de cascarilla de arroz que se puede incluir en el balanceado depende de la edad y peso de los cerdos, y de su requerimiento nutricional. También es importante considerar la calidad de la cascarilla de arroz utilizada, ya que ésta puede variar en contenido de fibra y otros nutrientes. En el caso de la proteína presenta valores superiores que otros cultivos como avena, cebada, maíz y sorgo (Tabla 16).

Es importante recordar que la formulación de una dieta balanceada para cerdos debe ser realizada por un profesional en nutrición animal, ya que las necesidades nutricionales de los cerdos varían según la edad, peso y otras condiciones. La cascarilla del arroz presenta menores valores de proteína que el trigo y el maíz, sin embargo, los valores de fibra con superiores (INATEC, 2016) (Tabla 17).

Tabla 16. Valor relativo de diferentes ingredientes alternativos, en comparación con el maíz y la pasta de soya.

Ingredientes	Materia seca	Aporte en base seca			% Total de la inclusión recomendada en la dieta		
		ED/ Kcal	Proteína %	Lisina (%)	Crecimiento/ finalización	Hembras Lactantes/ gestantes	Valor relativo
Fuentes de energía							Maíz
Arroz	88	3716	13,40	0,43	40/77	NR/25	100 - 105
Avena	89	3112	12,90	0,45	20	20	85 - 90
Avena descascarillada	86	4047	19,90	0,55	95	95	110 - 115
Cebada	89	3427	12,70	0,46	80	80	95 - 105
Frituras	90	5833	7,20	0,34	25/10	25	125 - 150
Granos secos de cervecería	92	2283	28,80	1,17	10	10	100 - 120
Grasas y aceites	100	8000	0,00	0	6	6	175 - 210
Harina de alfalfa	92	1989	18,50	0,8	10	NR/60	80 - 90
Linaza	90	3400	37,30	1,38	5	5	150 - 155
Maíz	89	3961	9,30	0,29	80	80	100
Maíz gluten	90	3322	23,90	0,7	25	5/90	110 - 130
Maíz Húmedo	72	3961	9,30	0,29	40	40	80 - 90
Maíz, granos con solubles secos de destilería	93	3441	29,80	0,67	20	40	100 - 110
Maíz, molienda (granza)	90	3728	11,40	0,42	80	80	100 - 110
Maíz, solubles secos de destilería	92	3614	29,00	0,89	20	?	135 - 145
Pulpa de remolacha seca	91	3148	9,50	0,57	10	10	90 - 100
Sorgo	89	3380	9,20	0,22	80	80	95 N- 98
Soya, cascarilla	89	1025	14,00	0,98	10	30	60 - 70
Subproductos de panadería	91	4330	11,90	0,3	40	10	100 - 110
Sucrosa	99	3833	0,00	0	33	?	85 - 95
Suero deshidratado	96	3474	12,60	0,94	15	10	130 - 140
Suero, líquido	7	3571	12,90	1,17	30	?	140 - 150

Fuente: Montero et al. (2015).

Tabla 17. Valor relativo de diferentes ingredientes alternativos, en comparación con el maíz y la pasta de soya.

Ingredientes	Materia seca	Aporte en base seca			% Total de la inclusión recomendada en la dieta		
		ED/Kcal	Proteína %	Lisina (%)	Crecimiento/finalización	Hembras Lactantes/gestantes	Valor relativo
Fuentes de energía							Maíz
Trigo rojo duro	88	3864	16,00	0,43	80	80	105 - 115
Trigo, harinilla	89	3455	17,90	0,64	40	400	110 - 130
Trigo, salvado	89	2719	17,60	0,72	10	15	110 - 120
Triticale	90	3689	13,90	0,43	80	80	105 - 115
Fuentes de proteína							Pasta de soya
Chicharos	89	3860	25,60	1,69	20/35	40	65 - 75
Frijol, desechos	84	3600	26,40	1,45	12	12	55 - 65
Granos secos de cervecería	92	2283	28,80	1,17	10	10	40 - 50
Habas	87	3730	29,80	1,86	20	10	65 - 75
Harina de carne	94	2867	57,40	3,27	5	5	120 - 130
Harina de carne y hueso	94	2440	51,50	2,51	7,5	7,5	120 - 130
Harina de pescado	92	4098	67,70	5,23	5	5	160 - 170
Leche descremada	96	4146	36,00	2,98	10	10	10 - 105
Leche entera	88	5667	27,50	2,5	10	10	100 - 105
Linaza	90	3400	37,30	1,38	5	5	60 - 65
Maíz gluten	90	3322	23,90	0,7	25	5/90	45 - 55
Maíz, granos con solubles secos de destilería	93	3441	29,80	0,67	20	40	45 - 55
Maíz, solubles secos de destilería	92	3614	29,00	0,89	20	?	55 - 60
Pasta de canola (colza)	90	3206	39,60	2,31	15	15	75 - 85
Pasta de girasol	90	2010	26,80	1,01	20	10	50 - 60
Pasta de soya	89	4007	51,00	3,27	35	35	100

NR= No es recomendable. ?= Sin información suficiente

Fuente: Montero et al. (2015).

2.1.15. Utilización de subproductos líquidos en la alimentación de cerdos

La alimentación en forma líquida ofrece la posibilidad de utilizar subproductos líquidos y económicos provenientes de las industrias alimentaria y de biocombustibles. Entre estos se incluyen el suero, permeado de suero, solubles de destilería de maíz, levadura de cerveza, azúcar, almíbar y agua de remojo de maíz. En investigaciones recientes llevadas a cabo en la Universidad de Guelph, se ha realizado una caracterización del valor nutricional de estos productos. Además, se han realizado estudios de laboratorio con el propósito de mejorar el valor nutricional de los solubles de destilería de maíz, el agua de remojo de maíz, así como el maíz con alto contenido de humedad mezclado con agua, utilizando técnicas como la maceración con enzimas o la inoculación con bacterias beneficiosas (Stein y Lange, 2007). Los coproductos líquidos, con un contenido de materia seca y nutrientes como ceniza, proteína, grasa, almidón y azúcares similar al de otros ingredientes, pueden sustituir hasta un 15% de la dieta de cerdos en crecimiento y finalización sin afectar su rendimiento, calidad de la canal o carne. Incluso, se han observado mejoras en el crecimiento al reemplazar maíz seco por permeado de suero líquido o al incluir agua de maíz en la dieta. Sin embargo, el suero líquido está cada vez menos disponible, ya que se procesa para obtener proteínas de alto valor. La implementación de la alimentación líquida requiere equipos y almacenamiento especializados, lo que aumenta el costo. Además, produce más estiércol y requiere experiencia para ajustar las formulaciones y manejar altos niveles de sodio, cloruro y potasio en algunos coproductos (Stein y Lange, 2007).

2.1.15.1 Evaluación de parámetros de crecimiento y engorde

La situación actual de la producción porcina, caracterizada por un control estricto y la necesidad de estrategias nutricionales, como la formulación de dietas con bajos niveles de proteínas y perfiles específicos de aminoácidos para garantizar un crecimiento óptimo, ha sido objeto de estudio en investigaciones previas. No obstante, es crucial reconocer que la aplicación de un conjunto único de requerimientos nutricionales para todos los cerdos de un determinado peso corporal resulta insuficiente debido a la amplia gama de capacidades genéticas presentes en los cerdos modernos y a los cambios que han experimentado en la última década (Souza et al., 2023).

La eficiente utilización de nutrientes es crucial para el rendimiento de los cerdos, ya que se basa en el suministro adecuado de energía, proteínas y aminoácidos. Limitaciones nutricionales pueden impedir que los cerdos alcancen su máximo potencial genético. Por lo tanto, lograr una tasa de crecimiento óptima y eficiencia en la utilización de alimentos, de acuerdo con la potencialidad genética específica de una categoría de animales, requiere una evaluación precisa de sus requisitos nutricionales. Estos requisitos no solo guían la formulación de raciones para la cría de animales, sino que también orientan la planificación anual de compras de alimentos cuando los precios son mínimos. Además, proporcionan directrices para el desarrollo de estrategias de alimentación complementaria en sistemas semi-intensivos de cría de cerdos (Paul et al., 2007).

Los requisitos nutricionales son influenciados por el tamaño corporal, el potencial de crecimiento o producción, las condiciones ambientales y la calidad del alimento. Factores como temperatura, humedad, luz solar y velocidad del viento pueden modular las necesidades nutricionales, variando según la región. En entornos tropicales, es probable que los requerimientos nutricionales de los cerdos difieran de aquellos en países templados debido a las diferencias en la constitución genética, tamaño corporal maduro, tasa de crecimiento, calidad de los alimentos y las variaciones climáticas (Da Silva et al., 2000).

2.1.15.2. Definición y cálculo de la ganancia diaria de peso

La eficiencia alimentaria (EA) se refiere a la relación entre la ganancia diaria de peso y el consumo diario de alimento durante un período específico. También puede expresarse como la relación entre el crecimiento y la ingesta de energía, siendo menos dependiente de la densidad energética de la dieta. En términos prácticos, en el caso de cerdos, se emplea comúnmente el inverso de la EA para representar la eficiencia en la conversión de alimento en ganancia de peso (Gaillard et al., 2020).

La ICA (Capacidad de Ingesta de Alimento) se mejora indirectamente al seleccionar cerdos con mayor tasa de crecimiento y menor tejido adiposo. Los comederos electrónicos permiten registrar el consumo individual de alimento en cerdos criados en grupos, posibilitando una selección más precisa para la eficiencia alimentaria. Esta mejora en la ICA no solo beneficia la producción (crecimiento y composición corporal), sino también otras funciones no relacionadas directamente con la producción (Gilbert et al., 2017).

2.1.15.3 Factores que influyen en la conversión alimenticia

Las condiciones de producción abarcan diversos aspectos, tales como el sistema de manejo, la raza, el genotipo, la alimentación, el manejo y el aturdimiento antes del sacrificio, el método de sacrificio, así como las condiciones de refrigeración y almacenamiento (Andersen et al., 2005).

En las últimas tres décadas, la inquietud de los consumidores sobre las implicaciones nutricionales de la ingesta de grasas en la dieta y la percepción de la carne de cerdo como una fuente de carne con mayor contenido graso, junto con las preocupaciones económicas centradas en el tiempo de alimentación y el peso óptimo para el sacrificio, ha llevado a la industria porcina a desarrollar cerdos más delgados y de crecimiento más rápido. Para alcanzar este objetivo, se han desarrollado diversas líneas genéticas con características conocidas de crecimiento y estructura corporal para producir las características finales deseadas (Brewer et al., 2002).

La estrategia de alimentación destaca como el elemento de manejo más activamente utilizado para controlar la calidad en la producción de carne. Este enfoque abarca la mejora y control del desempeño, bienestar animal, seguridad, valor nutricional, y calidad alimentaria y tecnológica. Aunque hay un entendimiento biológico sustancial en la optimización del rendimiento de los cerdos a través de la alimentación, la mayoría de las estrategias de alimentación aplicadas hasta hace poco han dependido principalmente de efectos "pasivos" (Centurión et al., 2014).

La carne de cerdo es una fuente de proteína fundamental en la dieta humana. Sin embargo, la eficiencia en la producción porcina se ve afectada por la baja ingesta de alimento y el limitado crecimiento después del destete. Si bien se ha investigado sobre las necesidades nutricionales, conductuales, de salud y ambientales de los cerdos destetados, el estancamiento del crecimiento sigue siendo un problema importante.

El destete provoca cambios en la estructura y función del intestino, como la atrofia de las vellosidades y la hiperplasia de las criptas, lo que se relaciona con un menor rendimiento. Se cree que esto se debe a una disminución temporal en la capacidad digestiva y de absorción del intestino delgado. Sin embargo, aún no se conoce con precisión la causa de estos cambios y su relación con los parámetros de producción después del destete (Pluske et al., 1997).

2.1.15.4. Componentes nutricionales en la dieta de los cerdos

Los componentes nutricionales en la dieta de cerdos son fundamentales para garantizar un crecimiento y desarrollo saludable en los animales, así como para obtener una producción eficiente y rentable. Los cerdos son animales omnívoros, lo que significa que su dieta debe incluir una combinación de proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales en proporciones adecuadas (Quintero, 2009).

Las proteínas son uno de los componentes nutricionales más importantes en la dieta de los cerdos, ya que son esenciales para el crecimiento muscular y el desarrollo de los tejidos. Las proteínas se dividen en aminoácidos, que son los bloques de construcción de las proteínas, y los cerdos requieren una variedad de aminoácidos en su dieta para garantizar un crecimiento óptimo. Las fuentes de proteínas utilizadas en la dieta de cerdos incluyen la soja, el maíz, el trigo y subproductos de la industria alimentaria, como la harina de pescado y la harina de carne y hueso.

Las grasas son una fuente importante de energía en la dieta de los cerdos, y también son importantes para la absorción de vitaminas y la producción de hormonas. Las grasas se dividen en grasas saturadas, grasas monoinsaturadas y grasas poliinsaturadas, y cada tipo tiene diferentes efectos sobre la salud y el crecimiento de los cerdos. Las fuentes comunes de grasas en la dieta de cerdos incluyen el aceite de soja, el aceite de maíz y la grasa animal.

Las vitaminas y minerales son nutrientes esenciales para la salud y el crecimiento de los cerdos. Las vitaminas se dividen en dos categorías: vitaminas liposolubles, como la vitamina A y la vitamina E, que se almacenan en los tejidos grasos, y vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C y las vitaminas del complejo B, que se excretan en la orina si no son usados por el cuerpo. Los minerales, por otro lado, son nutrientes inorgánicos que son esenciales para la salud de los cerdos y se encuentran en la dieta en forma de sales. Los minerales importantes en la dieta de los cerdos incluyen calcio, fósforo, hierro, zinc y selenio (Murcia et al., 2021).

Es importante tener en cuenta que los requerimientos nutricionales de los cerdos varían según su etapa de crecimiento y desarrollo. Los lechones recién nacidos requieren una dieta rica en proteínas y calorías para apoyar su crecimiento y desarrollo (Martínez y Salazar, 2020)

2.1.15.5 Proporciones óptimas de harina de cáscara de arroz y balanceado en la dieta

La incorporación de harina de cáscara de arroz en la dieta de cerdos es un área de investigación clave para mejorar la eficiencia alimentaria y promover la sostenibilidad en la producción porcina. La harina de cáscara de arroz, un subproducto de la industria arrocera, ha ganado atención como ingrediente potencialmente valioso en las dietas de cerdos debido a su disponibilidad y composición nutricional. Su inclusión puede mejorar la digestibilidad y proporcionar beneficios adicionales, como la reducción de costos y la sostenibilidad en la producción porcina. Sin embargo, determinar las proporciones óptimas de harina de cáscara de arroz y balanceado en las dietas es esencial para garantizar un rendimiento óptimo (Kim et al., 2021).

2.1.15.6 Composición nutricional de la harina de cáscara de arroz

La harina de cáscara de arroz es rica en fibra, especialmente fibra insoluble, lo que puede afectar la digestibilidad y la utilización de nutrientes en los cerdos. Además, contiene energía en forma de almidón y presenta variaciones en la concentración de proteínas y minerales (Oliveira et al., 2019).

2.1.15.7 Impacto económico de la alimentación con harina de cáscara de arroz

La rentabilidad en la producción porcina está directamente relacionada con los costos de alimentación. La harina de cáscara de arroz, al ser un subproducto disponible a menudo a precios más bajos que otros ingredientes tradicionales, puede ofrecer una alternativa económica para formular dietas nutricionalmente equilibradas. La sostenibilidad económica de la producción porcina se ve mejorada cuando se logra un equilibrio adecuado entre la inclusión de harina de cáscara de arroz y otros ingredientes en las dietas (Dorado y Vásquez, 2019).

La formulación de dietas que incluyen harina de cáscara de arroz debe considerar cuidadosamente la interacción con otros ingredientes para maximizar los beneficios económicos y productivos. Estudios han destacado la importancia de ajustar las proporciones de harina de cáscara de arroz en función de la edad y el peso de los cerdos, así como de comprender la interacción con otros ingredientes presentes en las dietas (Stein y Lange, 2007).

Además de sus beneficios económicos directos, la inclusión de harina de cáscara de arroz en las dietas porcinas también puede tener implicaciones positivas desde una perspectiva ambiental. La utilización de subproductos de otras industrias en la alimentación animal contribuye a la sostenibilidad al reducir la dependencia de ingredientes convencionales y alentar prácticas más eficientes.

El impacto económico de la alimentación con harina de cáscara de arroz en la producción porcina es significativo. La inclusión de este subproducto puede mejorar la eficiencia alimentaria, reducir costos y contribuir a la sostenibilidad económica de la producción porcina. Sin embargo, se necesita una cuidadosa formulación de dietas que considere factores como la edad y el peso de los cerdos, así como la interacción con otros ingredientes.

2.1.15.8. Sostenibilidad en la producción porcina

En el contexto actual del mercado, existe una imperiosa necesidad de desarrollar dietas que sean de alta calidad nutricional, al mismo tiempo que minimizan su impacto ambiental y son económicamente rentables (Jara, 2022).

El crecimiento en la demanda por carne de cerdo exige una mejor gestión y aprovechamiento del potencial genético de los animales. Esta tendencia impulsa la mejora en la producción y abre oportunidades para la exportación. Los avances en el rendimiento animal, explotando al máximo su potencial genético, se han logrado gracias a la aplicación de tecnologías y conocimientos modernos. Estos avances se enfocan en el crecimiento, la eficiencia productiva, la calidad y el rendimiento de la carne. Muchos de estos rasgos son heredables en un grado moderado a alto, y la respuesta a la selección depende de la diversidad genética de la población y la intensidad de la selección aplicada (Cabling et al., 2015).

La nutrición desempeña un papel fundamental en la mejora de la sostenibilidad de la producción porcina. La reducción en el uso de alimento balanceado no solo disminuiría los costos asociados, sino que también impactaría en la excreción de nutrientes. Además, puede tener efectos significativos en la calidad del producto, como la proporción de magro a grasa, la calidad de la grasa y la uniformidad de los productos. En la actualidad, la mayoría de los cerdos de engorde se agrupan y se alimentan según las necesidades promedio de la

sala o corral, lo que puede resultar en la sobrealimentación de algunos cerdos y la subalimentación de otros. En el caso de las cerdas, comúnmente se les suministran dos dietas: una restrictiva durante la gestación y otra casi ad libitum durante la lactancia, ambas basadas en los requisitos de una cerda promedio (Gaillard et al., 2020).

2.1.15.9 Evaluación del impacto ambiental de las dietas que incluyen subproductos agrícolas

Las dietas convencionales que incorporan harina de maíz y soja a menudo han incrementado los niveles de harina de soja para cumplir con los requerimientos de lisina de los cerdos. Esto resulta en niveles de proteínas en la dieta que son excesivamente altos y una ineficiente utilización de proteínas. Simultáneamente, la proteína animal no digerida se elimina en cantidades significativas a través de las heces y la orina, generando una contaminación ambiental considerable (Wang et al., 2022).

2.1.15.10 Aspectos económicos y sociales de la sostenibilidad en la producción porcina

Según el INTA (2012) los pequeños y medianos productores (PyMP) juegan un papel crucial en la industria porcina nacional, por lo que es fundamental comprender las dificultades que enfrentan para desarrollar políticas integrales que impulsen su desarrollo.

Las principales problemáticas de los PyMP incluyen:

- **Baja productividad física:** Menor producción de carne por cerdo en comparación con sistemas tecnificados.
- **Brecha de productividad:** Diferencia significativa entre la producción promedio y la de los mejores productores.
- **Deficiente gestión empresarial:** Falta de planificación, organización y control en las fincas.
- **Capacitación insuficiente:** Necesidad de formación para los productores y su personal en áreas técnicas y administrativas.
- **Escasez de técnicos especializados:** Limitado acceso a profesionales en Buenas Prácticas Pecuarias.
- **Manejo inadecuado:** Altas tasas de mortalidad y baja preñez debido a prácticas deficientes.

- **Infraestructura deficiente:** Instalaciones poco funcionales que impactan la productividad y el medio ambiente.
- **Falta de planes sanitarios:** Ausencia de medidas para prevenir enfermedades y controlar la salud animal.
- **Bienestar animal:** Limitada implementación de normas que aseguren el bienestar de los cerdos.
- **Contaminación ambiental:** Impacto negativo en el medio ambiente por la inadecuada gestión de residuos.

Abordar estas dificultades de forma integral es fundamental para:

- **Mejorar la productividad y rentabilidad:** Aumentar la producción de carne y reducir los costos.
- **Promover la sostenibilidad:** Implementar prácticas que protejan el medio ambiente.
- **Fortalecer la competitividad:** Ayudar a los PyMP a competir en el mercado nacional e internacional.
- **Mejorar la calidad de vida de los productores:** Brindarles las herramientas y conocimientos necesarios para tener un mejor futuro.

Para lograr estos objetivos, se requiere:

- **Desarrollo de políticas públicas:** Implementar programas y estrategias que apoyen a los PyMP en áreas como capacitación, asistencia técnica, acceso a crédito y tecnología.
- **Investigación y desarrollo:** Generar conocimiento y tecnologías apropiadas para las necesidades de los PyMP.
- **Fortalecimiento de las organizaciones de productores:** Ayudar a los PyMP a organizarse y trabajar juntos para defender sus intereses.
- **Alianzas público-privadas:** Fomentar la colaboración entre el gobierno, el sector privado y la academia para el desarrollo de la porcicultura familiar.

Al abordar las dificultades de los PyMP de manera integral, se puede fortalecer la industria porcina nacional y mejorar la calidad de vida de los productores y sus familias (INTA, 2012).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en la granja porcina de ciclo completo del Sr. Walter Ufredo Peláez, ubicada en la vía a La Primavera km 2,5, ciudad de Machala, provincia de El Oro, en las coordenadas geográficas 03° 13' 51" de Latitud Sur y 79° 55' 12" de Longitud Oeste, a una altitud de 9 msnm (Figura 10).



Figura 10. Ubicación geográfica del lugar donde se desarrolló el experimento.

Fuente: Google Earth (2024).

3.1.1. Características del área de estudio

La zona de Machala, ubicada en la provincia de El Oro, Ecuador, presenta un clima tropical húmedo. El clima de la región se caracteriza por temperaturas medias anuales entre 24 y 26 grados Celsius y precipitaciones que oscilan entre 250 y 500 milímetros al año. La zona presenta una marcada estacionalidad, con un período seco que abarca entre 8 y 10 meses, dentro del cual se registran entre 110 y 181 días con escasa o nula precipitación, clasificando el régimen de humedad como árido. Las precipitaciones, que se concentran principalmente entre fines de diciembre y finales de mayo, suelen ser de carácter fuerte y corta duración, en forma de chubascos. El período seco se extiende desde junio hasta mediados de diciembre aproximadamente (León & Martínez, 2012).

3.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, debido a la manipulación de un factor de estudio (alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollo más banano de rechazo cocido) conformado por cuatro tratamientos (Tabla 18) a partir de la sustitución del alimento tradicional y la mezcla con diferentes cantidades de harina de la cáscara de arroz), los cuales fueron distribuidos de forma aleatoria, mediante el uso de la tabla de números aleatorios, en las unidades experimentales (corrales) replicadas dos veces (necesitándose ocho corrales) en los cuales se colocaron las unidades de estudio (ocho cerdos) seleccionados aleatoriamente una vez que alcanzaron la edad de destete.

Tabla 18. Tratamientos objeto de estudio en la investigación.

Tratamientos	Alimento tradicional	Harina de cáscara de arroz
T ₁	Vísceras de pollo más rechazo de banano cocido, menos 10% de su peso.	Sustitución del 10%
T ₂	Vísceras de pollo más rechazo de banano cocido, menos 15% de su peso.	Sustitución del 15%
T ₃	Vísceras de pollo más rechazo de banano cocido, menos 20% de su peso.	Sustitución del 20%
T ₄ (control)	Vísceras de pollo más rechazo de banano cocido.	0%

Las unidades experimentales o corrales utilizados (ocho) cuentan con una dimensión de 2,30 m de ancho x 3 m de largo (6,9 m²) construidos de hormigón armado, a una altura de 1 m, donde se distribuyeron los tres tratamientos experimentales (dieta diaria a base de alimento tradicional con inclusión de diferentes porcentajes de harina de cáscara de arroz, sustituyendo la misma cantidad de alimento) y un testigo o control (alimento tradicional sin harina de cáscara de arroz). Las unidades de estudio o de muestreo estuvieron conformadas por cerdos de la raza Pietrain-Duroc destetados a los 40 días posteriores al nacimiento, procedentes de la granja porcina ubicada en una zona con condiciones climáticas similares (Figura 11),



Figura 11. Unidades experimentales (corrals) donde se establecieron a las unidades de estudio (cerdos) y se asignaron los tratamientos.

Modelo matemático del experimento

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde

Y_{ij} : respuesta obtenida bajo el efecto del i -ésimo tratamiento y la j -ésima replicación (variable medida).

μ : efecto de la media general de la variable respuesta (gran media).

τ_i : efecto del i -ésimo tratamiento, o sea, es el efecto de cada nivel o versión del FE en la variable de estudio.

ϵ_{ij} : error aleatorio (residuo). Desviación en el i -ésimo tratamiento y la j -ésima observación realizada en cada réplica del tratamiento.

3.3 Manejo del experimento

Material vegetal

Para realizar la mezcla con el alimento tradicional se utilizó como materia prima la cáscara de arroz, generada en el proceso de pilado, es desechada por los productores y cuando se acumula demasiado es incinerada por los administrados de las empresas piladoras (Figura 15).



Figura 12. Piladora de arroz COAGRO (lugar donde sale la cáscara de arroz).

Según reporte del Ministerio de Agricultura (MAG) de la Provincia de El Oro, en un semestre se producen 1.194,18 kg de cáscara de arroz aproximadamente, materia prima que se encuentra en las cinco empresas piladoras y procesadoras, ubicadas en la Parroquia La Cuca del cantón Arenillas, provincia de El Oro.

Obtención de la materia prima

Por falta de empresas moledoras de harina de la cáscara de arroz dentro de la provincia de El Oro, se optó por comprar en la fábrica en el cantón Lomas de Sargentillo perteneciente a la provincia del Guayas, a un costo de \$3,80 dólares americanos cada quintal (Figura 16).



Figura 13. Fábrica moledora de la cáscara de arroz.

Análisis químico de la harina de cáscara de arroz

Se envió una muestra de harina de cáscara de arroz al Analytical Laboratories ubicado en la Ciudad de Guayaquil y el informe con los resultados se recibió el 5 de julio de 2023, donde se destaca el contenido de fibra con un 44,58% (Tabla 19).

Tabla 19. Resultados del análisis de laboratorio realizado a la harina de cáscara de arroz utilizada en el experimento.

Parámetros	Valores (%)
Proteína	2,52
Grasa	0,47
Humedad	7,30
Cenizas	18,54
Carbohidratos totales	8,10
Fibra	44,58

Fuente: Analytical Laboratories (2023).

Materia prima de origen animal

Los cerdos utilizados en el experimento se obtuvieron en la granja Peláez, vía a la primavera, donde se realiza el siguiente proceso para la producción de los cerdos al destete.

Área de gestación

Se encuentra formada por dieciséis salas con medidas de 0,61 m x 2,25 m cada una, en el cual la reproductora permanece 114 días en estado de preñez (Figura 12).



Figura 14. Cerdas adultas en estado de gestación.

Área de parto

Aproximadamente faltando cinco días para el parto, las reproductoras se ubican en otra área, conformada por seis salas con medidas de 1,60 m x 2,41 m; las crías permanecen junto a su madre por 28 días; momento en el cual están listos para el destete (Figura 13).



Figura 15. Reproductora de la Pietrain-Duroc recién efectuado el parto.

Área de levante

En esta fase se cuenta con tres corrales construidos sobre piso de slats plástico cuyas dimensiones son de 3,25 m x 2,40 m, en este lugar donde se alojan todos los cerdos desde

el inicio del destete y permanecen hasta los 60 días con balanceado de crecimiento y harina de maíz, se aplica la primera dosis de desparasitación (Figura 14).



Figura 16. Destete y primera alimentación de cerdos raza Pietrain-Duroc.

Para aplicar el estudio de la harina de la cáscara de arroz a los 45 días (contados desde su nacimiento), se trasladó a treinta y dos cerdos al área de crecimiento, se procedió a ubicar ocho cerdos o unidades de estudio por corral (machos y hembras) y se colocaron aretes para identificarlos (Figura 17).



Figura 17. Areteo de los cerdos de raza Pietrain-Duroc.

Alimentación

El banano de rechazo es triturado por una máquina de compresas y luego es cocinado juntamente con las vísceras de pollo, se deja enfriar por un lapso de 12 horas, luego de este tiempo se procede a alimentar a los cerdos tres veces al día (Figura 18).



Figura 18. Alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollo y rechazo de banano cocidos 12 horas antes de ofertado a los cerdos.

Dosis de alimentación

El alimento tradicional (vísceras de pollo más rechazo de banano cocido y enfriado), es puesto en un balde de 20 libras y conforme al porcentaje de aplicación de harina de cáscara de arroz por corral es reemplazado parte este alimento por el porcentaje de la harina correspondiente. Por ejemplo, en un corral se aplicó 16 libras de alimento tradicional (80%) y 4 libras de harina de cáscara de arroz (20%) (Figura 19).



Figura 19. Cerdos de la raza Pietrain-Duroc al final del experimento.

La recolección del alimento no consumido y la limpieza de los corrales; así como, los animales se realizaron diariamente en la sección de la mañana y la tarde. El lavado y la desinfección de los corrales se realizó con la utilización de una manguera y agua a presión. Los residuos sólidos fueron separados de la parte líquida, ubicados para descomposición con el uso de bacterias y posteriormente secados para uso como fertilizante. El agua para los cerdos fue ofertada ad libitum procedente de un pozo subterráneo.

3.4 Variables a medir y recolección de datos

En el cuadro de operacionalización de variables se ubican la variable independiente (alimento tradicional (AT) mezclado con diferentes porcentajes de harina elaborada a partir de cáscara de arroz (HCA) en la dieta de cerdos en la etapa de crecimiento y las variables dependientes que responden a los objetivos del estudio (Tabla 20).

Tabla 20. Cuadro de operacionalización de variables.

Variable	Indicador	Valor final de medición	Tipo de variable
Alimento tradicional mezclado con harina de cascara de arroz	Factor de estudio manipulado	1. AT + HCA (10%). 2. AT + HCA (15%). 3. AT + HCA (20%). 4. AT.	Categorica politómica
Altura de cerdos	Talla	cm	Numérica continua
Ancho de cerdos	Talla	cm	Numérica continua
Largo de cerdos	Talla	cm	Numérica continua
Peso de cerdos	Masa	(kg)	Numérica continua

Recolección de datos

La recolección de datos se realizó cada 15 días, después de iniciado el experimento después de destetados los animales.

Peso de cerdos

Con la colaboración de los cuidadores se realizó el pesaje con una balanza digital, marca SHINE, con capacidad de 600 kg (Figura 20).



Figura 20. Medición de la variable peso de animales.

Largo de cerdos

Con una cinta métrica se efectuó la toma de medida por toda la columna vertebral de los cerdos (Figura 21).



Figura 21. Medición de la variable largo de animales.

Ancho de cerdos

Con una cinta métrica sobre las patas delanteras se tomó la medida del ancho de cada uno de los cerdos (Figura 22).



Figura 22. Medición de la variable ancho de animales.

Altura de cerdos

Con una cinta métrica se tomó la medida desde la mitad de columna sobre la paleta hacia la pezuña delantera.

3.5 Procedimiento estadístico

Con la finalidad de conocer la presencia o no de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos objeto de estudio (AT + HCA (10%), AT + HCA (15%), AT + HCA (20%) y AT) en función de las variables ganancia de largo, ancho, altura y peso de cerdos raza Pietrain-Duroc a los 60 días de iniciada las mediciones se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor intergrupos. Previamente fueron verificados los supuestos del modelo paramétrico, normalidad de datos (Test de Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianzas (Test de Levene). Se utilizó la prueba de rangos y comparaciones múltiples de Duncan para determinar entre que tratamientos se encuentran diferencias o similitudes cuando se obtuvo un p-valor significativo.

La representación gráfica del comportamiento de las variables altura, ancho, largo y peso de los animales durante el periodo de duración del experimento se realizó mediante gráficos de perfil en líneas. La ganancia de altura, ancho, largo y peso de los animales se representó mediante gráficos de barras simples, en los cuales se ubican letras encima de las barras para establecer diferencias o similitudes entre los tratamientos objeto de estudio.

Los datos recolectados en el presente estudio fueron tabulados y procesados con la utilización del software estadístico SPSS versión 25 de prueba para Windows. Las pruebas realizadas se realizaron con un 95% de confiabilidad en la estimación de los resultados ($\alpha=0,05$).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto del alimento tradicional y la harina de cáscara de arroz en el crecimiento de cerdos raza Pietrain-Duroc durante 60 días posteriores al destete

4.1.1. Largo de cerdos

La respuesta de los animales, al inicio de las mediciones del largo (15 días después del destete), bajo el efecto de la alimentación tradicional (Vísceras-banano al 90%) mezclada con la harina de cáscara de arroz (10%) alcanzó el mayor valor (62,9 cm) sin diferencias estadísticas a los tratamientos con Harina de arroz (20%)+Vísceras-banano (80%) y Vísceras-banano (100%) que obtuvieron 60,7 cm y 59,7 cm respectivamente; sin embargo, fue estadísticamente diferente al valor obtenido (56,5 cm) cuando se utilizó Harina de arroz (10%) +Vísceras-banano (90%). Similar comportamiento se mantuvo a los 15, 30 y 45 días posteriores al primer muestreo realizado. A los 60 días del primer muestreo realizado, la utilización del alimento tradicional mezclado con 15% y 20% de harina de cáscara de arroz presentaron los mejores resultados en relación con el largo de los animales (72,9 cm y 72,6 cm respectivamente), sin diferencias estadísticas con el tratamiento sin la mezcla con harina de cáscara de arroz, lo cual indica el efecto positivo del alimento elaborado por el productor (68,1 cm), demostrándose el efecto positivo que presenta la adición de 15 o 20% de harina de cáscara de arroz en el alimento tradicional que se utiliza en la granja porcina. En este momento de muestreo el menor valor promedio de largo de animales se obtuvo con la utilización de la harina de cáscara de arroz (10%) +Vísceras-banano (90%) (66,5 cm) lo que evidencia que la mezcla del alimento tradicional con bajas dosis de harina de cáscara de arroz provoca una disminución de la actividad metabólica de cerdos de la raza Pietrain-Duroc al no producirse la maduración de la flora intestinal. Por otro lado, es importante destacar que los animales pertenecientes a cada tratamiento no presentaron afectaciones por diarrea, lo que indica que la cantidad de fibra no fue impedimento para el desarrollo adecuado de cada uno de los animales seleccionados para el estudio (Tabla 21).

Tabla 21. Efecto de los tratamientos en el largo de cerdos Pietrain-Duroc, en diferentes momentos de muestreo.

Tratamientos objeto de estudio	Momentos de muestreo/media de largo de cerdos (cm)				
	Inicio	15 días	30 días	45 días	60 días
Harina de arroz (10%) +Vísceras-banano (90%)	56,5b	59,0b	61,5b	64,1b	66,5b
Harina de arroz (15%) +Vísceras-banano (85%)	62,9a	65,0a	67,4a	70,0a	72,9a
Harina de arroz (20%) +Vísceras-banano (80%)	60,7ab	63,1ab	65,5ab	68,6ab	72,6a
Vísceras-banano (100%)	59,7ab	60,4b	62,7b	65,5ab	68,1ab
Media total	59,9	61,8	64,2	67,1	70,0
Desviación estándar	4,48	4,64	4,81	5,05	5,84
CV (%)	7,4	7,5	7,5	7,5	8,3
p-valor	0,001	0,002	0,048	0,049	0,013

*Letras diferentes, en cada momento de muestreo, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para un $p\text{-valor} \leq 0,05$.

En la Figura 23 se muestra la evolución del largo de los cerdos durante el tiempo de duración del estudio, donde se observa que, desde el inicio de las mediciones realizadas a partir de 15 días posteriores al inicio del experimento, los tratamientos donde se mezcló el alimento tradicional sustituyéndolo con un 15 y 20% de harina de cáscara de arroz alcanzaron los valores mayores de la variable evaluada, resultado que se mantuvo durante los 60 días evaluados. En el caso de la sustitución del alimento tradicional por el 10% de harina de cáscara de arroz se alcanzaron valores de largo de cerdos por debajo de lo obtenido cuando se alimentaron con el alimento tradicional solamente, lo cual es un indicador que el efecto de la fibra que contiene la cáscara del arroz en baja dosis no contribuyen al crecimiento de largo de animales; además, se debe considerar que desde el inicio de la aplicación del tratamiento del 10% de harina de cáscara de arroz en promedio fueron los de menor talla.

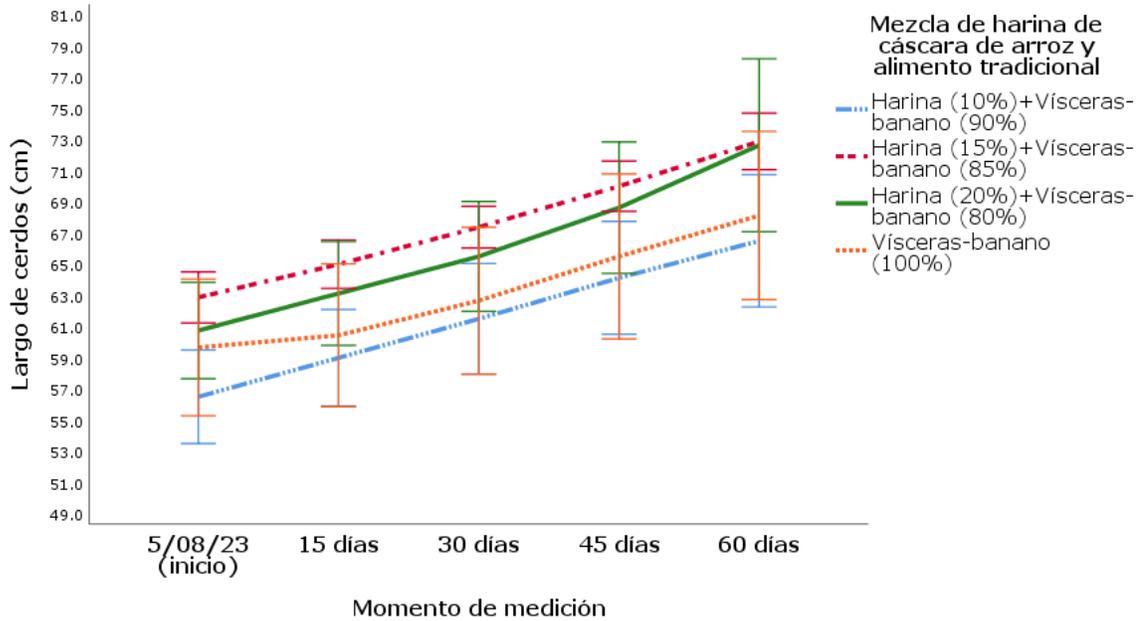


Figura 23. Evolución del largo de cerdos Pietrain-Duroc durante los primeros dos meses de edad.

4.1.2. Ancho de cerdos

El ancho de cerdos raza Pietrain-Duroc mantuvo un incremento sostenido durante el periodo analizado bajo el efecto del alimento tradicional a base de vísceras de pollo y rechazo de banano con la sustitución de diferentes porcentajes (0, 10, 15 y 20%) de harina de cáscara de arroz. Al inicio de las mediciones realizadas 15 días después de comenzado el experimento se obtuvieron valores mayores en los tratamientos que se sustituyó el alimento tradicional con 20% (14,6 cm), 15% (14,3 cm) y 10% (14,1 cm) de harina de cáscara de arroz, sin embargo, se presentó diferencia estadística significativa entre la mezcla con el 20% de harina de cáscara de arroz al compararlo con la utilización de alimento tradicional donde se obtuvo el menor valor (13,0 cm). Después de iniciadas las mediciones (15, 30, 45 y 60 días) no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos objeto de estudio, evidenciándose que por naturaleza e hibridación en la producción esta clase de animales por naturaleza desarrollan un lomo ancho y espalda musculosa característico en la raza Pietrain (Tabla 22).

Tabla 22. Efecto de los tratamientos en el ancho de cerdos Pietrain-Duroc, en diferentes momentos de muestreo.

Tratamientos objeto de estudio	Momentos de muestreo/media de ancho de cerdos (cm)				
	Inicio	15 días	30 días	45 días	60 días
Harina de arroz (10%) +Vísceras-banano (90%)	14,1ab	15,5a	16,1a	17,4a	19,3a
Harina de arroz (15%) +Vísceras-banano (85%)	14,3ab	15,8a	17,0a	18,5a	20,1a
Harina de arroz (20%) +Vísceras-banano (80%)	14,6a	16,0a	16,9a	18,0a	19,9a
Vísceras-banano (100%)	13,0b	14,6a	15,4a	16,8a	19,3a
Media total	14,0	15,4	16,3	17,7	19,6
Desviación estándar	1,31	1,41	1,56	1,58	1,62
CV (%)	9,3	9,2	9,6	8,9	8,3
p-valor	0,048	0,158	0,133	0,051	0,635

*Letras diferentes, en cada momento de muestreo, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para un $p\text{-valor} \leq 0,05$.

La evolución del ancho de los cerdos, durante el tiempo de duración del estudio, muestra que a los 15 y 30 días de iniciado el experimento la sustitución de diferentes porcentajes de alimento nutricional con harina de cascara de arroz produjo mejores resultados que la utilización de vísceras de pollo+rechazo de banano, comportamiento que se mantuvo hasta el final del ensayo. A los 60 días los tratamientos con el 15 y 20% de harina de cáscara de arroz adicionados al alimento tradicional alcanzaron los mejores resultados, evidenciándose un efecto positivo en el consumo de estas combinaciones de proteínas, fibras, grasas, minerales y otros componentes beneficiosos para el crecimiento de los cerdos (Figura 24).

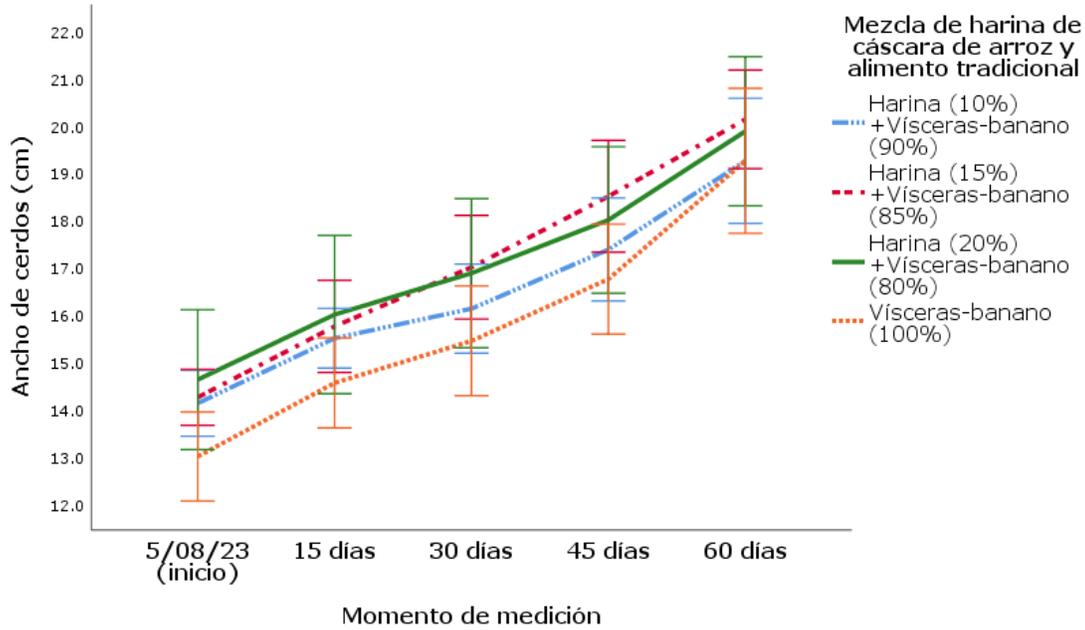


Figura 24. Evolución del ancho de cerdos Pietrain-Duroc durante los primeros dos meses de edad.

4.1.3. Altura de cerdos

En todos los momentos de medición evaluados el uso de la mezcla de harina de cáscara de arroz sustituyendo el 20% del alimento elaborado a base de vísceras de pollo y rechazo de banano, alcanzó valores superiores de altura de cerdos raza Pietrain-Duroc y diferentes estadísticamente al alimento tradicional sin harina de cáscara de arroz; sin embargo, no presentó diferencias estadísticas en el contraste realizado con 10 y 15% de harina de cáscara de arroz, evidenciándose un mejora en el proceso digestivo de los animales desde las etapas iniciales relacionadas con el crecimiento y la ingesta de nutrientes beneficiosos para su desarrollo (Tabla 23).

Tabla 23. Efecto de los tratamientos en la altura de cerdos Pietrain-Duroc en diferentes momentos de muestreo.

Tratamientos objeto de estudio	Momentos de muestreo/media de altura de cerdos (cm)				
	Inicio	15 días	30 días	45 días	60 días
Harina de arroz (10%) +Vísceras-banano (90%)	33,6a	36,5a	39,3a	42,4ab	45,8bc
Harina de arroz (15%) +Vísceras-banano (85%)	35,3a	37,0a	38,8a	42,9ab	47,8ab
Harina de arroz (20%) +Vísceras-banano (80%)	35,9a	38,8a	41,6a	45,4a	51,4a
Vísceras-banano (100%)	29,9b	33,2b	35,2b	39,5b	42,3c
Media total	33,5	36,3	38,7	42,6	46,8
Desviación estándar	3,59	3,32	3,87	4,10	5,46
CV (%)	10,7	9,1	10,0	9,6	11,7
p-valor	0,000	0,002	0,003	0,031	0,004

*Letras diferentes, en cada momento de muestreo, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para un $p\text{-valor} \leq 0,05$.

En la Figura 25 se muestra la evolución de la altura de los cerdos durante el tiempo de duración del estudio, donde se observa que, los tratamientos donde se mezcló el alimento tradicional sustituyéndolo con 10, 15 y 20% de harina de cáscara de arroz alcanzaron los valores mayores de la variable evaluada, resultado que se mantuvo durante los 60 días evaluados. En el caso de la sustitución del alimento tradicional por el 20% de harina de cáscara de arroz se alcanzó el valor, con un incremento mayor en el último periodo estudiado lo cual es un indicador que el efecto de la fibra que contiene la cáscara del arroz proporciona energía, mejora la capacidad de absorción de nutrientes y prolonga el vaciado gástrico en los cerdos.

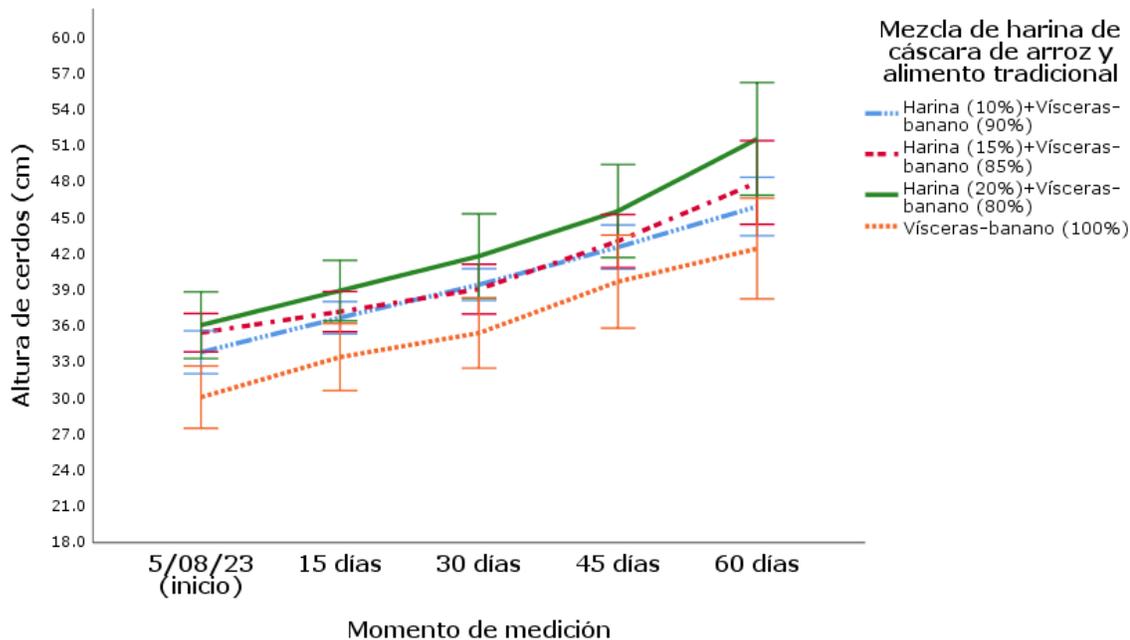


Figura 25. Evolución de la altura de cerdos raza Pietrain-Duroc durante los primeros dos meses de edad.

4.1.4. Peso de cerdos

El peso de cerdos raza Pietrain-Duroc se incrementó de forma sostenida durante el periodo analizado bajo el efecto del alimento tradicional a base de vísceras de pollo y rechazo de banano con la sustitución de diferentes porcentajes (0, 10, 15 y 20%) de harina de cáscara de arroz. Al inicio de las mediciones realizadas (15 días después de comenzado el experimento) se alcanzó el mayor valor en el tratamiento que sustituyó el alimento tradicional con 20% de harina de cáscara de arroz (19,1 kg), no diferente al uso del 15% de harina de cáscara de arroz (16,0 kg), sin embargo, presentó diferencias estadísticas altamente significativas al compararlo con la sustitución del 10% (14,3 kg) y 0% (12,3 kg) de harina elaborada con cáscara de arroz en mezcla con el alimento tradicional. Similar comportamiento de mantuvo en los diferentes momentos evaluados, evidenciándose un efecto positivo en el peso de los animales con la utilización de harina de cáscara de arroz en sustitución y mezclado con alimento tradicional. A los 60 de iniciada las mediciones la utilización de 20% de harina de cáscara de arroz mezclada con el alimento tradicional produjo un incremento significativo de 10,9 kg en comparación con el uso de alimento tradicional sin harina de cáscara de arroz, lo que demuestra la efectividad de incorporar la

dieta tradicional alimentaria de los cerdos el consumo de fibra, debido al potencial que posee de controlar patrones metabólicos e inmunológicos y la colonización microbiana en cada uno de los animales alimentados (Tabla 24).

Tabla 24. Efecto de los tratamientos en el peso de cerdos Pietrain-Duroc en diferentes momentos de muestreo.

Tratamientos objeto de estudio	Momentos de muestreo/media de peso de cerdos (cm)				
	Inicio	15 días	30 días	45 días	60 días
Harina de arroz (10%) +Vísceras-banano (90%)	14,3bc	17,3bc	19,4a	25,4ab	31,4b
Harina de arroz (15%) +Vísceras-banano (85%)	16,0ab	18,4ab	19,8a	26,3ab	33,0b
Harina de arroz (20%) +Vísceras-banano (80%)	19,1a	21,4a	22,2a	31,1a	40,1a
Vísceras-banano (100%)	12,3c	14,2c	16,7b	23,0b	29,2b
Media total	15,3	17,7	19,4	26,5	33,4
Desviación estándar	3,91	4,30	4,71	6,13	6,38
CV (%)	25,5	24,2	24,3	23,6	19,1
p-valor	0,001	0,002	0,048	0,049	0,013

*Letras diferentes, en cada momento de muestreo, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para $p\text{-valor} \leq 0,05$.

La evolución del peso de los cerdos, durante el tiempo de duración del estudio, muestra que la sustitución de diferentes porcentajes de alimento nutricional con harina de cáscara de arroz produjo mejores resultados que la utilización de vísceras de pollo+rechazo de banano, comportamiento que se mantuvo hasta el final del ensayo. A los 60 días de iniciada las mediciones el tratamiento con 20% de harina de cáscara de arroz adicionados al alimento tradicional alcanzó el mejor resultado, evidenciándose un efecto positivo en el uso prolongado de fibra desde la etapa del destete, aportando en este caso desde el principio al control de diarrea en los cerdos, para posteriormente contribuir a la absorción de nutrientes y la mejora de peso (Figura 26).

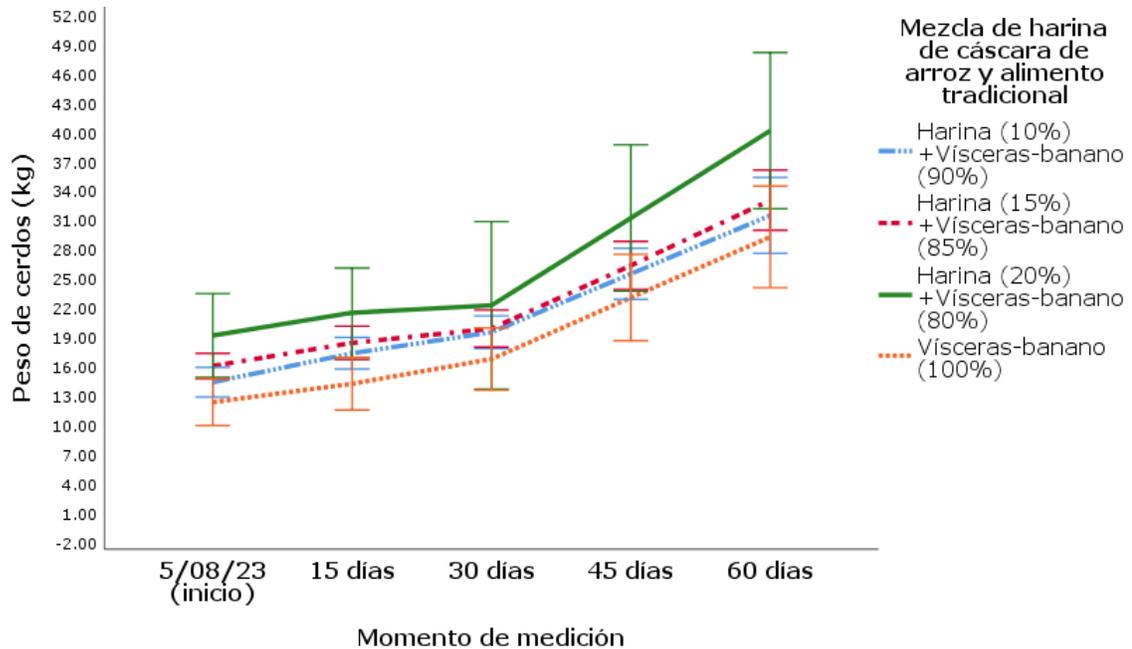


Figura 26. Evolución del peso de cerdos Pietrain-Duroc durante los primeros dos meses de edad.

4.2 Ganancia en crecimiento y peso de cerdos raza Pietrain-Duroc

4.2.1. Ganancia en largo de cerdos

La comparación entre tratamientos en relación con el largo de cerdos raza Pietrain-Duroc realizada mediante el análisis de varianza de un factor intergrupos muestra que se presentan diferencias estadísticas significativas ($p\text{-valor} < 0,05$), evidenciando un efecto diferente de la utilización de diferentes porcentajes de harina de cáscara de arroz en sustitución del alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollos y rechazo de banano en la ganancia de largo de los animales (Tabla 25).

Tabla 25. Resultados de análisis de varianza de un factor intergrupos para la variable largo de cerdos.

Fuentes de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p-valor
Entre tratamientos	27,12	3	9,04	1,907	0,045
Dentro del tratamiento	132,75	28	4,74		
Total	159,87	31			

La utilización del 20% de harina de cáscara de arroz en mezcla con el alimento tradicional alcanzó el mayor valor de ganancia de largo (11,9 cm) durante el periodo de duración del experimento, no diferente estadísticamente al compararlo con el uso de la mezcla con 10% (10,5 cm) y 15% (10,0 cm) de harina de cáscara de arroz; evidenciándose un efecto similar del empleo de los diferentes porcentajes de harina de cáscara de arroz en la mezcla con el alimento tradicional en el incremento del largo de los animales estudiados; sin embargo, es diferente estadísticamente al tratamiento donde se utilizó el 100% de alimento tradicional elaborado con vísceras de pollo y rechazo de banano (9,4 cm) demostrándose que la utilización de la harina de la cáscara de arroz presenta un efecto positivo en el metabolismo de los cerdos posterior a la fase de destete, tiempo en el cual es crucial para solidificar el sistema metabólico de los animales, para cumplir con las funciones de crecimiento y desarrollo en condiciones óptimas de salud (Figura 27).

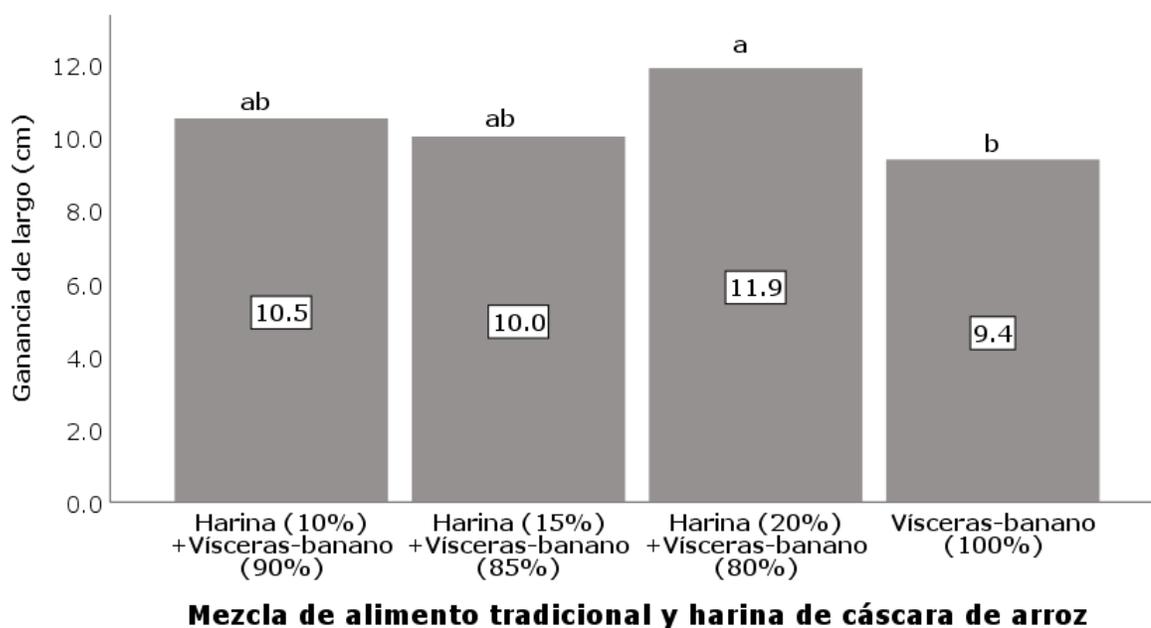


Figura 27. Efecto de los tratamientos en la ganancia de altura de cerdos Pietrain-Duroc.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas para un $p\text{-valor} \leq 0,05$.

Los resultados obtenidos en esta investigación donde la mezcla del 15 y 20% de harina de cáscara de arroz en sustitución de las mismas cantidades de alimento tradicional elaborado a partir de las vísceras de pollo y rechazo de banano cocinados coinciden con los encontrados por Silva et al. (2009 quienes en un estudio desarrollado con el objetivo de evaluar la sustitución de maíz por sémola de arroz en raciones para codornices japonesas ponedoras sobre el desempeño zootécnico y la calidad de los huevos en el período de 64 a 148 días de edad, constataron que la utilización de arroz partido puede sustituir totalmente al maíz, ya que no encontraron efectos significativos sobre el desempeño zootécnico de cerdos en crecimiento cuando se realizó la sustitución parcial y total del maíz por arroz partido.

4.2.2. Ganancia en ancho de animales

En relación con el ancho de cerdos raza Pietrain-Duroc, la comparación realizada mediante el análisis de varianza de un factor intergrupos muestra que no se presentan diferencias estadísticas significativas ($p\text{-valor} > 0,05$), evidenciando que la utilización de diferentes

porcentajes de harina de cáscara de arroz en sustitución del alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollos y rechazo de banano no causa un efecto en el ancho de los animales (Tabla 26).

Tabla 26. Resultados de análisis de varianza de un factor intergrupos para la variable ancho de cerdos.

Fuentes de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p-valor
Entre tratamientos	5,59	3	1,86	1,445	0,251
Dentro del tratamiento	36,12	28	1,29		
Total	41,71	31			

En relación con el ancho de los animales estudiados la utilización de diferentes porcentajes de harina de cáscara de arroz (10, 15 y 20%) en mezcla con el alimento tradicional, así como, el empleo de alimento tradicional (100%) elaborado con vísceras de pollo y rechazo de banano alcanzaron valores similares, lo cual, constituye un indicador de la poca relevancia que tiene esta variable a esta edad de los animales (Figura 28).

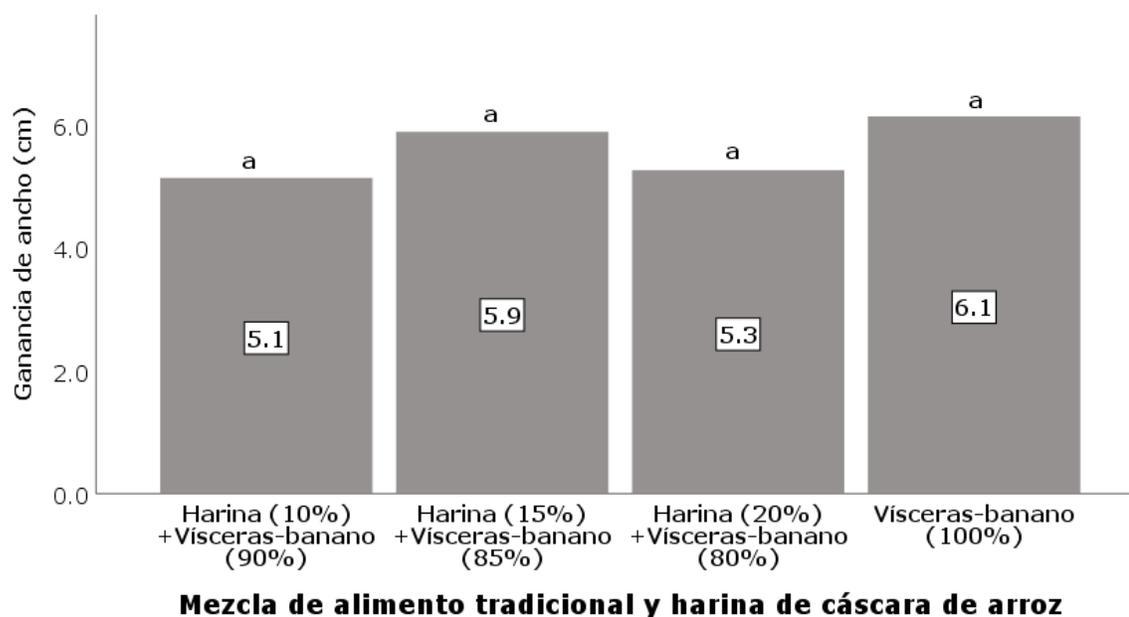


Figura 28. Efecto de los tratamientos en la ganancia de ancho de cerdos Pietrain-Duroc.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas para un $p\text{-valor} \leq 0,05$.

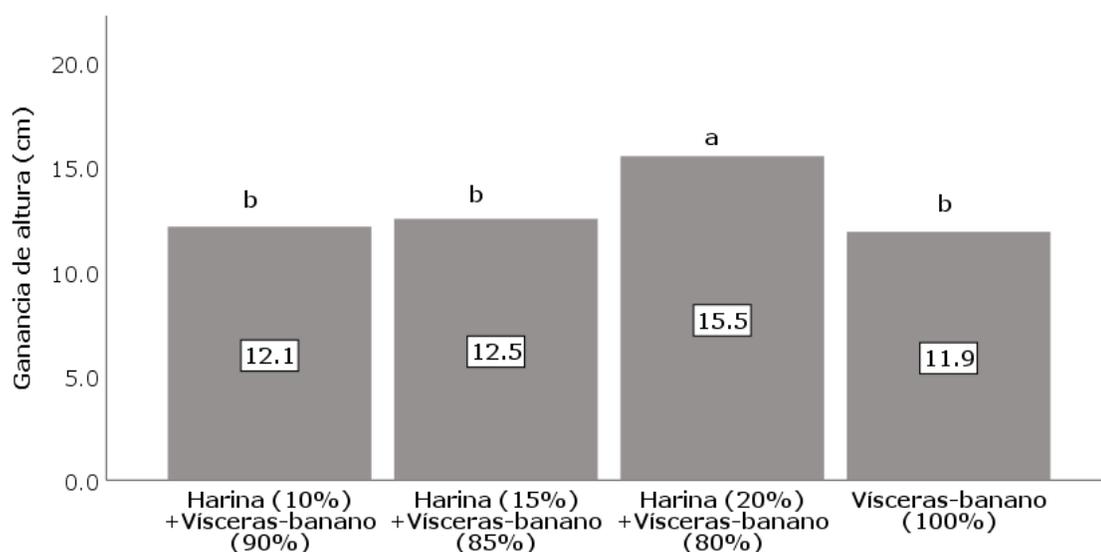
4.2.3. Ganancia en altura de animales

La comparación entre tratamientos en relación con la altura de cerdos raza Pietrain-Duroc realizada mediante el análisis de varianza de un factor intergrupos muestra que se presentan diferencias estadísticas significativas (p -valor $<0,05$), evidenciando un efecto diferente de la utilización de diferentes porcentajes de harina de cáscara de arroz en sustitución del alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollos y rechazo de banano en la ganancia de altura de los animales (Tabla 27).

Tabla 27. Resultados de análisis de varianza de un factor intergrupos para la variable altura cerdos.

Fuentes de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p-valor
Entre tratamientos	68,25	3	22,75	2,702	0,046
Dentro del tratamiento	235,75	28	8,42		
Total	304,00	31			

La utilización del 20% de harina de cáscara de arroz en mezcla con el alimento tradicional alcanzó el mayor valor de ganancia de altura (15,5 cm) de los animales durante el periodo de duración del experimento, diferente estadísticamente a los tratamientos donde se utilizaron 10% (12,1 cm), 15% (12,5 cm) de harina de cáscara de arroz y el 100% de alimento tradicional elaborado con vísceras de pollo y rechazo de banano (11,9 cm) demostrándose que la utilización de la harina de la cáscara de arroz presenta un efecto positivo en el metabolismo de los cerdos (Figura 29).



Mezcla de alimento tradicional y harina de cáscara de arroz

Figura 29. Efecto de los tratamientos en la ganancia de altura de cerdos raza Pietrain-Duroc.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas para un $p\text{-valor} \leq 0,05$.

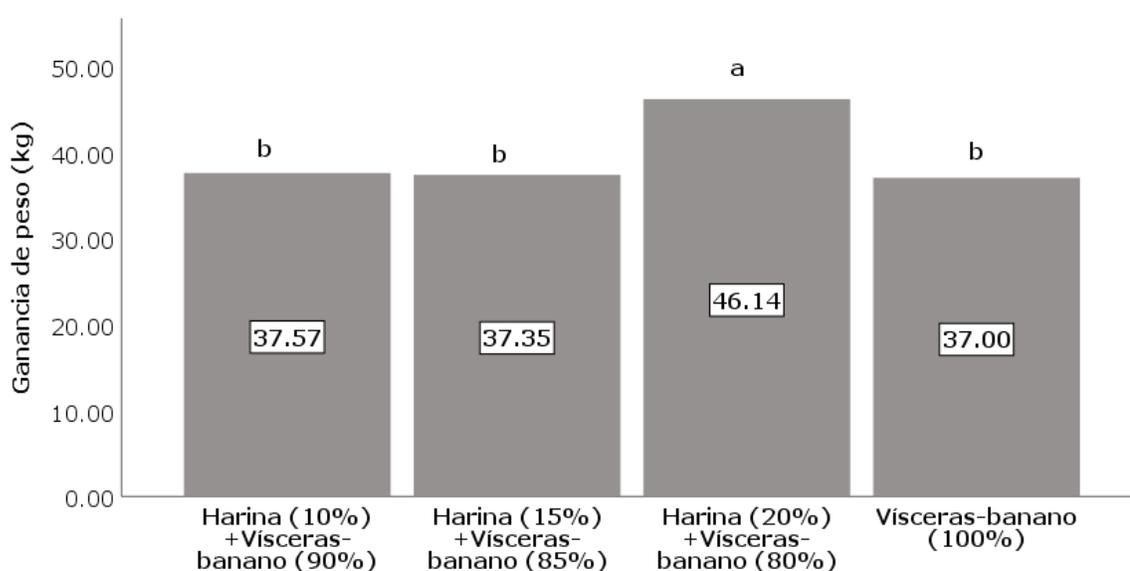
4.2.4. Ganancia en peso de animales

La comparación entre tratamientos en relación con el peso de cerdos raza Pietrain-Duroc realizada mediante el análisis de varianza de un factor intergrupos muestra que se presentan diferencias estadísticas significativas ($p\text{-valor} < 0,05$), evidenciando un efecto diferente de la utilización de diferentes porcentajes de harina de cáscara de arroz en sustitución del alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollos y rechazo de banano en la ganancia de peso de los animales (Tabla 28).

Tabla 28. Resultados de análisis de varianza de un factor intergrupos para la variable peso de cerdos.

Fuentes de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p-valor
Entre tratamientos	469,61	3	156,54	2,398	0,049
Dentro del tratamiento	1827,53	28	65,26		
Total	2297,15	31			

La utilización del 20% de harina de cáscara de arroz en mezcla con el alimento tradicional alcanzó el mayor valor de ganancia de peso (46,14 kg) durante el periodo de duración del experimento, diferente estadísticamente a los tratamientos donde se utilizaron 10% (37,57 kg), 15% (37,35 kg) de harina de cáscara de arroz y el 100% de alimento tradicional elaborado con vísceras de pollo y rechazo de banano (37,00 kg) demostrándose que la utilización de la harina de la cáscara de arroz presenta un efecto positivo en el metabolismo de los cerdos (Figura 30).



Alimento tradicional y mezcla de harina de cáscara de arroz

Figura 30. Efecto de los tratamientos en la ganancia de peso de cerdos Pietrain-Duroc.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas para un $p\text{-valor} \leq 0,05$.

En la presente investigación se redujeron los gastos y costos que se generan en la producción porcícola, resultados similares a los alcanzados por Hurtado et al. (2010) en un estudio desarrollado con el objetivo de evaluar el rendimiento de cerdos alimentados con raciones conteniendo subproductos de arroz durante la fase de crecimiento.

Según Prada y Cortés (2010) cada kilogramo de cáscara de arroz incinerado emite a la atmosfera 1,43 kg de CO₂.

Considerando la producción mundial obtenida en 2022, que alcanza 776.461.456,6 toneladas. En Ecuador la producción de arroz en 2022 alcanzó 1.252.800,0 toneladas.

La cascarilla de arroz es un material de desecho agrícola que constituye alrededor del 20% de la producción mundial de arroz, que se aproximó a los 700 millones de toneladas en el año 2011, la cascarilla de arroz es el mayor residuo resultante de la producción agrícola de granos y su disposición final es uno de los mayores problemas existentes en los países productores de arroz como Colombia.

5. CONCLUSIONES

La harina elaborada de la cáscara de arroz tiene un alto contenido de fibra insoluble (44,58 %) condición que permite el uso del residuo en la alimentación de animales, al mejorar el metabolismo y aprovechar los nutrientes suministrados con mayor facilidad por el espesamiento que produce.

La utilización de la harina de cáscara de arroz en sustitución del 20% del alimento tradicional elaborado a base de vísceras de pollo y rechazo de banano en la etapa de crecimiento de cerdos raza Pietrain-Duroc mejoró la ganancia de altura, largo y peso de animales en un 137%; respecto a la utilización de 0, 10 y 15% de harina de cáscara de arroz.

El aprovechamiento de la cáscara de arroz en la alimentación de cerdos raza Pietrain-Duroc constituye una alternativa eficaz que contribuye a la disminución de gastos y costos de producción, así como, disminuir la afectación ambiental que podría provocar la incineración del residuo generado en el proceso de pilado del cereal.

Aunque se dispone de la materia prima para la mezcla con otro tipo de alimentos no se aprovecha de forma adecuada debido al desconocimiento e idiosincrasia de los porcicultores.

6. RECOMENDACIONES

Proponer a los porcicultores la inclusión de harina de cáscara de arroz mezclada en el alimento utilizado en cerdos en diferentes etapas de crecimiento basadas en la rentabilidad y el rendimiento productivo alcanzado en el presente estudio.

Desarrollar estudios experimentales para sustituir mayores porcentajes de harina de cáscara de arroz en el alimento tradicional de la finca del productor donde se realizó la investigación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca Parco, M. B. (2018). Diseño de un modelo de gestión para reproductoras porcinas en Ecuador. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- Alfonso, M., Tamayo, V., & Torres, G. B. (2018). Aspectos técnicos y económicos de la sustitución parcial de alimento comercial con morera (*Morus alba*) en la alimentación de cerdos de levante y ceba. *Revista Citecsa*, 10(16), 11.
- Almarche Fuster, A. (2018). *Studio de la bioactividad potencial de extractos hemicelulósicos de la cascarilla de arroz*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/107252>
- Alonso, V., Campo, M. del M., Español, S., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2009). Effect of crossbreeding and gender on meat quality and fatty acid composition in pork. *Meat Science*, 81(1), 209–217. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2008.07.021>
- Andersen, H. J., Oksbjerg, N., Young, J. F., & Therkildsen, M. (2005). Feeding and meat quality – a future approach. *Meat Science*, 70(3), 543–554. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2004.07.015>
- ANDREA, G. T. P. (2023). Evaluación de alternativas de producción más limpia para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz. 1–23.
- Ansón-Catalán, M. (2022). *Análisis técnico-económico de la producción de cerdos finalizados con Pietrain versus cerdos finalizados con Duroc D.O.P “Jamón de Teruel.”*
- Aragadvay-Yungan, R. G., Nuñez-Torres, O. P., Velástegui-Espín, G. P., Villacís-Aldaz. L.A., & Guerrero-López. J.R. (2016). Uso de harina de *Colocasia esculenta* L., en la alimentación de cerdos y su efecto sobre parámetros productivos Using *Colocasia esculenta* L . meal in feed for pigs and its effect on production parameters Resumen Introducción La búsqueda de alimentos no con. *J. Selva Andina Anim Sci.*, 3, 7. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsaas/v3n2/v3n2_a04.pdf
- Bellacci, M. (2018). Efectos del consumo de fibras solubles e insolubles en lechones. *Facultad de Ciencias Veterinarias UNLP*, 87. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/67313/Documento_completo.pdf-PDFA2u.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bernal, A., Álvarez, D., & Buendía, B. (2019). Evaluación de alternativas alimenticias para cerdos en crecimiento en el Valle. *Avances*, 21(3), 356–366. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7006733>

- Brewer, M. S., Jensen, J., Sosnicki, A. A., Fields, B., Wilson, E., & McKeith, F. K. (2002). The effect of pig genetics on palatability, color and physical characteristics of fresh pork loin chops. *Meat Science*, 61(3), 249–256. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00190-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00190-5)
- Cabling, M. M., Kang, H. S., Lopez, B. M., Jang, M., Kim, H. S., Nam, K. C., Choi, J. G., & Seo, K. S. (2015). Estimation of genetic associations between production and meat quality traits in Duroc pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(8), 1061–1065. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0783>
- Caicedo, W., Sánchez, J., Viamontes, M., Tapuy, A., Estrada, C., Flores, A., & Moya, C. (2019). Chemical composition and apparent digestibility of green “orito” banana (*Musa acuminata* AA) meal in growing pigs Composición química y digestibilidad aparente de la harina de banano orito verde (*Musa acuminata* AA) en cerdos de crecimiento. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(August), 1–9.
- Campabadal, C. (2009). Gran técnica para Alimentación de Cerdos. *Ministerio De Agricultura Y Ganaderia*, 1, 44. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00144.PDF>
- Carolina, C., & Quijano, C. (2018). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz-una revisión Silicates and active carbon obtained by the use of husk rice-a review. *Scientia et Technica Año XVIII*, 18(2), 169–194.
- Carrillo Quijano, C. C., Albarracin Caballero, J., & Pereira Hernandez, X. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz - una revisión. *Scientia et Technica*, 18, 422–429.
- Castillo, L. (1984). Principales razas porcinas y cruzamientos. *INIAP - Estación Experimental “Portoviejo,”* 139. Disponible en: [https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1199/1/INIAP PORTOVIEJO-650.pdf](https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1199/1/INIAP%20PORTOVIEJO-650.pdf)
- Castillo, M., Anguita, M., & Gasa, J. F. P. J. (2015). *Adaptación de la microbiota gastrointestinal del cerdo a diferentes tipos de fibra*. 1999, 449–451.
- Centurión, R. A. O., Caldara, F. R., Moi, M., Almeida Paz, I. C. L., García, R. G., Nääs, I. A., Alves, M. C. F., Zeviani, W. M., & Seno, L. O. (2014). Ambiente térmico y bienestar de los cerdos en el período de descanso previo al sacrificio. *Archivos de Zootecnia*, 63(242), 239–249. <https://doi.org/10.21071/az.v63i242.540>
- Charlotte Gaillard, Ludovico Brossard, J.-Y. D. (2020). Improvement of feed and nutrient efficiency in pig production through. *Ciencia y Tecnología de Alimentación Animal*, 268.

- Choi, J. S., Jin, S. K., Choi, Y. Il, & Lee, J. J. (2015). Effects of duroc breeding lines on carcass composition and meat quality. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35(1), 80–85. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.1.80>
- Da Silva Tavares, S. L., Lopes Donzele, J., Miranda De Oliveira, R. F., & Ferreira, A. S. (2000). Influência da Temperatura Ambiente sobre o Desempenho e os Parâmetros Fisiológicos de Suínos Machos Castrados dos 30 aos 60 kg 1. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(1), 199–205. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000100027>
- De Cuyper, C., Tanghe, S., Janssens, S., Van Den Broeke, A., Van Meensel, J., Aluwé, M., Ampe, B., Buys, N., & Millet, S. (2019). The effect of Piétrain sire on the performance of the progeny of two commercial dam breeds: A pig intervention study. *Animal*, 13(10), 2125–2132. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000429>
- Degiovanni, V. (2010). Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz. In *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*.
- DIAO, S. qi, LUO, Y. yu, MA, Y. long, DENG, X., HE, Y. ting, GAO, N., ZHANG, H., LI, J. qi, CHEN, Z. mou, & ZHANG, Z. (2018). Genome-wide detection of selective signatures in a Duroc pig population. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2528–2535. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61984-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61984-7)
- Do, C. H. (2007). Relation of Production Traits and Reproduction Traits in Swine. *Journal of Animal Science and Technology*, 49(3), 303–308. <https://doi.org/10.5187/jast.2007.49.3.303>
- Dorado-Montenegro, S., & Vásquez-Vargas, J. (2019). Características y manejo básico de los cerdos de compañía. *Nutrición Animal Tropical*, 13(1), 1–14. <https://doi.org/10.15517/nat.v13i1.35929>
- Espinosa, O. (2013). *Estudio de la carne de cerdo y propuesta gastronómica de autor*.
- Ferreira, R. A., Oliveira, R. F. M. de, Donzele, J. L., Araújo, C. V. de, Silva, F. C. de O., Fontes, D. de O., & Saraiva, E. P. (2005). Redução do nível de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(2), 548–556. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982005000200024>

- Franco, L. F. (2016). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de harina de cascarilla de arroz en el municipio de Ibagué - Tolima. *unidad central del valle del cauca*, 01, 1–23.
- Galeano, J. C. (2012). Efecto del método de colección sobre la digestibilidad total de soya extruida en cerdos. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 1(1), 16–25.
- Gallardo Romero, A. P. (2019). *Análisis comparativo de tres sistemas de alimentación en cerdos ibéricos*.
- García-contreras, AC., De Loera, YG., Yagüe, AP., Guevara, JA., & García, C. (2012). Alimentación práctica del cerdo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 6, 21–50. <https://doi.org/10.1038/208435b0>
- García-Gudiño, J., Blanco-Penedo, I., Perea-Muñoz, J., Hernández-García, F. I., Matías, J., & Izquierdo, M. (2017). La cascarilla de arroz como estrategia alimentaria en el cerdo ibérico durante la premontanera: estudio comportamental y valoración del bienestar animal. *XVII Jornadas Sobre Producción Animal*, 202, 770–772.
- Ghio, M., De la Sota, L., & Nazareno, M. (2015). Actualización sobre mejoramiento genético porcino en el mundo y en la República Argentina. *Revista de La Facultad de Agronomía UNLPam Vo*, 25 (1), 69–74.
- Gilbert, H., Billon, Y., Brossard, L., Faure, J., Gatellier, P., Gondret, F., Labussière, E., Lebreton, B., Lefaucheur, L., Le Floch, N., Louveau, I., Merlot, E., Meunier-Salaün, M. C., Montagne, L., Mormede, P., Renaudeau, D., Riquet, J., Rogel-Gaillard, C., Van Milgen, J., ... Noblet, J. (2017). Review: Divergent selection for residual feed intake in the growing pig. *Animal*, 11(9), 1427–1439. <https://doi.org/10.1017/S175173111600286X>
- Glinoubol, J., Jaturasitha, S., Mahinchaib, P., Wicke, M., & Kreuzer, M. (2015). Effects of Crossbreeding Thai Native or Duroc Pigs with Pietrain Pigs on Carcass and Meat Quality. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 5, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.020>
- González, A., Figueroa, V., Bentancur, O., & Astigarraga, L. (2022). Efecto de la fuente de fibra en la digestibilidad y la retención de nitrógeno en cerdos. *Archivos de Zootecnia*, 71(275), 164–171.
- González, A. (2022). Inclusión progresiva de forraje en la dieta de cerdos en crecimiento-engorde: efecto de la cantidad y del tipo de fibra sobre el desempeño productivo, la

- utilización digestiva y la excreción de nitrógeno Andrea. In *Tesis Doctoral* (Issue 8.5.2017).
- Gutiérrez León, F. A., Guachamin, D., & Portilla, A. (2017). Valoración nutricional de tres alternativas alimenticias en el crecimiento y engorde de cerdos (sus scrofa domestica) Nanegal-Pichincha. *La Granja*, 26(2), 155. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.13>
- Hernández, I. (2020). Producción de cerdos (lechones) en traspatio, razas: Pietrain, Landrace, Yorkshire y Trilinea. in *benemérita universidad autónoma de puebla complejo regional norte – sede tetela programa de ingeniería agroforestal producción*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaad.2013.01.032>
- Hernandez, M. (2021). Beneficios de la línea paterna Pietrain X Duroc para mejoramiento de cruza en México. *Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Mexico.*, 1–65. [repositorio.uaaan.mx/bitstream/handle/123456789/47992/K_67177_Hernández Coronado%2C Miguel Ángel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uaaan.mx/bitstream/handle/123456789/47992/K_67177_Hernández_Coronado%2C_Miguel_Ángel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hincapié Rojas, D. F. (2017). *Obtención y caracterización de nano partículas de sílice a partir de la cascarilla de arroz para estudiar el efecto de su inclusión en las propiedades de las placas de fibrocemento*. 101.
- Hurtado, E. A., Cueva-Navia, T., & Barba-Capote, C. (2021). La modelización del crecimiento de los cerdos bajo un sistema de cama profunda. *Ciencia Unemi*, 14(36), 1–11. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss36.2021pp1-11p>
- INATEC. (2016). Manual Del Protagonista Nutrición Animal. *Manuales INATEC*, 140. <https://www.biopasos.com/documentos/087.pdf>
- INTA. (2012). Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar. In *Salud Animal*. www.fao.org
- Jara Bastidas, M. (2022). *Evaluación de las Propiedades Antioxidantes de un Suplemento Nutricional Elaborado a partir de la Cáscara de Naranja, Verde y Polvillo de Arroz*. 8–37. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60747>
- Kim, S., Cho, J. H., Kim, H. B., & Song, M. (2021). Rice as an alternative feed ingredient in swine diets. *Journal of Animal Science and Technology*, 63(3), 465–474. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e5>

- Kusec Goran, Kralik Gordana, Petricevic Antun, Margeta Vladimir, Gajcevic Zlata, Gutzmirtl Drazenka, p. m. (2004). *differences in slaughtering characteristics between crossbred pigs with Pietrain and duroc as terminal sire*. 1(august), 121–127.
- Lemes de Campos, R., & Santos, C. (2007). Desarrollo de la Producción porcina en Brasil y en España. *ARTIGOS*, 21, 17–23.
- Li, Y. H., Li, F. N., Duan, Y. H., Guo, Q. P., Wen, C. Y., Wang, W. L., Huang, X. G., & Yin, Y. L. (2018). Low-protein diet improves meat quality of growing and finishing pigs through changing lipid metabolism, fiber characteristics, and free amino acid profile of the muscle. *Journal of Animal Science*, 96(8), 3221–3232. <https://doi.org/10.1093/jas/sky116>
- Lozano, C. (2020). Alternativa de usos de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa* L.) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia* - *UNAD*, 67. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33698/cllozanor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mafla B., A. (2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *Inventum*, 4(6), 74–78. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.4.6.2009.74-78>
- Mark Boggess; Hans H. Stein; Joel DeRouchey. (2008). Alternative Feed Ingredients in Swine Diets Introduction. *Pork Checkoff*.
- Martínez-Aguilar, M. V., & Salazar-Villanea, S. (2020). Activación del sistema inmune en cerdos y su requerimiento de metionina, treonina y triptófano. *Nutrición Animal Tropical*, 14(2), 23–38. <https://doi.org/10.15517/nat.v14i2.43580>
- Martínez-Reina, Doria-Ramos, A. M. ;, García-Jiménez, Salcedo-Carrascal, J. ;, Herrera-Pérez, E. ;, & Carrascal-Triana, N. ; (2020). Archivos de Zootecnia. *Arch. Zootec*, 69(268), 444–452.
- Mendoza, C. (2014). *Análisis de factibilidad para el establecimiento de una granja porcina en Ecuador*. 1–45. <http://hdl.handle.net/11036/3404>
- Minussi, I., Gerrits, W. J. J., Jansman, A. J. M., Gerritsen, R., Lambert, W., Zonderland, J. J., & Bolhuis, J. E. (2023). Amino acid supplementation counteracts negative effects of low protein diets on tail biting in pigs more than extra environmental enrichment. *Scientific Reports*, 13(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45704-0>

- Montenegro, E. (2020). *Aprovechamiento de la cáscara de arroz para la producción de bioplásticos*. 37. <http://hdl.handle.net/10498/23513>
- Montero, E., Martínez-Gamba, R., Herradora, M., Ramírez, G., Espinoza, S., Sánchez, M., & Martínez-Rodríguez, R. (2015). *Alternativas para la producción porcina a pequeña escala*.
- Montesdeoca, L. (2017). *Análisis de los sistemas de producción porcina tradicionales en las zonas rurales de la parroquia Colonche del cantón Santa Elena, Ecuador* (Issue 593). Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b8764797-a3b2-4ae4-9952-0aa58010649f/content>
- José Monzó, Pedro Matthey, Rafael Roballo, Jherson Díaz & Silvio Delvasto (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 35(175), 285–294.
- Murcia, V., Savio, M., Cora, F., & Benítez, A. (2021). *Principios básicos de nutrición porcina*. 15.
- Paul, S. S., Mandal, A. B., Chatterjee, P. N., Bhar, R., & Pathak, N. N. (2007). Determination of nutrient requirements for growth and maintenance of growing pigs under tropical condition. *Animal*, 1(2), 269–282. <https://doi.org/10.1017/S1751731107284228>
- Pedersen, M. L. M., Velandar, I. H., Nielsen, M. B. F., Lundeheim, N., & Nielsen, B. (2019). Duroc boars have lower progeny mortality and lower fertility than Pietrain boars¹. *Translational Animal Science*, 3(2), 885–892. <https://doi.org/10.1093/tas/txz036>
- Pluske, J. R., Hampson, D. J., & Williams, I. H. (1997). Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: A review. *Livestock Production Science*, 51(1–3), 215–236. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00057-2)
- Postemsky, P., Bidegain, M., Devalis, R., Figlas, D., González Matute, R., & Delmastro, S. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales del arroz para el cultivo del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*. *V Jornadas de La RedVITEC: 10 Años de Experiencias de Cooperación: Universidad–Entorno Socioproductivo–Estado, Ii*.
- Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral Thermal decomposition of rice husk: an alternative integral use. *Revista ORINOQUIA*, 14(1), 155–170.
- Puerta, C., Jaramillo, L., & Upegui S. (2021). Valorización de cascarilla de arroz en diferentes sectores industriales. *Prácticas y Herramientas de Sostenibilidad*, 45–112. Disponible en:

[https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/4858/Valorizaci%
c3%b3n%20de%20casca
rilla%20de%20arroz%20en%20diferentes%20sectores%20industriales.pdf?sequence=1&is
Allowed=y](https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/4858/Valorizaci%c3%b3n%20de%20casca%20rilla%20de%20arroz%20en%20diferentes%20sectores%20industriales.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Quiceno Villada, David; Mosquera, m. y. (1997). alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible. *Surface Science*, 377–379, 983–987. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0039-6028\(96\)01554-3](https://doi.org/10.1016/S0039-6028(96)01554-3)
- Ramón, S. A., Cárdenas, J. A., & Rojas, J. P. (2018). Poder calorífico de la cascarilla de arroz. *Mundo Fesc*, 15(January), 72–76.
- Rivera, M. L. (2018). Uso de cascarilla de arroz ultrafina y nanométrica para la remoción de mercurio total (I y II) del agua. *Universidad de Los Andes*, 1–6.
- Robinson Ubau, D. B., Torres Martínez, D. U., & Vílchez Pérez, H. J. (2022). Uso sostenible de la cascarilla de arroz para productos de valor añadido. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 12(1), 2–27. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i1.14516>
- Rodríguez, B. (2007). Determinación de la Composición Química y Propiedades Físicas y Químicas del Pulido de Arroz (*Oryza sativa* L.). *Escuela de Ingeniería En Alimentos*, 52. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/far696d/sources/far696d.pdf>
- Rodriguez, G., Romar, C., & Sabalsagaray, S. (2013). Valorización Del Residuo Obtenido De La Quema De La Cáscara De Arroz. *Inia*, 45, 1–68. <http://www.inia.org.uy>
- Rodriguez-Carpena, J.-G., Montiel Pérez, M. M., Deniz González, P. de J., Ruíz Flores, A., Grageola Núñez, F., & Luna Castañeda, M. E. (2023). Evaluación de dos niveles de lisina en dietas de iniciación para cerdos Pelón Mexicano y su efecto en canal y carne. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 31(Suplemento), 109–114. <https://doi.org/10.53588/alpa.310520>
- Romero De Armas, R., Euster, Acosta, A., & Muni, J. A. (2017). *Afrecho de yuca como sustituto parcial del maíz en la alimentación de cerdos de engorde Cassava bran like partial substitute of the corn in the feeding of pig's feeder Producción y salud animal*. 54–61.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F. G., Saraiva, A., Abreu, M. L. T. de, Rodrigues, P. B., Oliveira, R. F. de, Barreto, S. L. de T., & Brito, C. de O. (2017). Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos (2017). In *Universidad Federal de Viçosa* (Vol. 4).

- Sánchez, A., Gutiérrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos Bioethanol Production from agroindustrial lignocellulosic byproducts. *Tumbaga*, 5, 61–91. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/194/163>
- Savón, L. (2005). Alimentación no convencional de especies monogástricas: utilización de alimentos altos en fibra. *Alimentación No Convencional Para Monogástricos En El Trópico*, 30–50.
- Segarra, E., Salinas, L., & López, G. (2018). Calidad de la canal de cerdos en la industria porcina de Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 2(2), 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2018.09.022><http://dx.doi.org/10.1016/j.ejphar.2009.04.058><http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2015.10.001><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2854659&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Silva, H. O., Menezes, I. do C., Braga, D. F., Schoulten, N. A., & Silva, L. F. (2009). Quirera de Arroz em Substituição ao Milho em Rações para Suínos em Crescimento e Terminação: Desempenho e Características de Carcaça. *Revista Científica De Produção Animal*, 6(2). Recuperado de <https://periodicos.ufpb.br/index.php/rcpa/article/view/42672>
- Smith, W. C., Pearson, G., & Garrick, D. J. (1988). Evaluation of the duroc in comparison with the landrace and large white as a terminal sire of crossbred pigs slaughtered at 85 kg liveweight. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 31(4), 421–430. <https://doi.org/10.1080/00288233.1988.10423437>
- Souza, F. N. C., Génova, J. L., Gregory, C. R., de Oliveira, N. T. E., Castilha, L. D., Eyng, C., Nunes, R. V., Carvalho, S. T., Ribeiro, C. V. D. M., & Carvalho, P. L. de O. (2023). Low- and high-protein diets supplemented up to the fourth limiting amino acid for genetic lines of grower-finisher pigs. *Livestock Science*, 267, 105144. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2022.105144>
- Stein, H., & Lange, K. De. (2007). Alternative feed ingredients for pigs. *7th Annual London Swine Conference*, 3–4(April), 103–119.
- Tartrakoon, W., Taksinanan, N., Koedchuen, C., & Incharoen, T. (2017). *Insoluble Fiber Prepared from Rice Hulls for the Dietary Supplementation of Growing-Finishing Pigs*. 13, 1155–1166.

- Taylor, G., & Roese, G. (2005). Breeds of pigs - Duroc. *PrimeFact*, 64(November), 1–2. www.dpi.nsw.gov.au
- Tencio, R. (2017). Guía de elaboración y aplicación de bioinsumos para una producción agrícola sostenible. *Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica Instituto Nacional de Innovación y Transferencia En Tecnología Agropecuaria FundeCooperación Fondo Multilateral de Inversiones*, 1–36. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F08-10924.pdf>
- Tipanluisa, L., Moreno, G., Guasumba, J., Celi, S., & Molina, J. (2015). Estudio experimental de la combustión de la cascarilla de arroz en una cámara de lecho fijo. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*, 11, 37–43. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/337>
- Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla del arroz. *Scientia et Technica Año XIII*, 37. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903743.pdf>
- Vera, Y. C., Vargas, J. A. V., & Peñaranda, M. G. (2015). Evaluación De Ensilajes a Partir De Residuos De Post-Cosecha De Arroz Tratados Con Bacterias Ácido Lácticas. *Alimentos Hoy*, 23(36), 62–74. <http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/345>
- Wang, D., Chen, G., Chai, M., Shi, C., Geng, Y., Che, Y., Li, Y., Liu, S., Gao, Y., & Hou, H. (2022). Effects of dietary protein levels on production performance, meat quality and flavor of fattening pigs. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.910519>
- Wang, Y. M., Yu, H. T., Zhou, J. Y., Zeng, X. F., Wang, G., Cai, S., Huang, S., Zhu, Z. P., Tan, J. J., Johnston, L. J., Levesque, C. L., & Qiao, S. Y. (2019). Effects of feeding growing-finishing pigs with low crude protein diets on growth performance, carcass characteristics, meat quality and nutrient digestibility in different areas of China. *Animal Feed Science and Technology*, 256, 114256. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2019.114256>
- Zambrano, E. (2019). *Análisis Económico de dos Dietas Alimenticias en Cerdos de Razas Pietrain en Condiciones Estabuladas, en el Cantón Buena Fé.* <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3863>
- Zambrano, G., Cedeño, C., Garcia, V., & Ulbio, A. (2021). Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa Use of rice husk (*Oryza sativa*) for the production of cellulose fibres Uso de casca de arroz (*Oryza sativa*) para obtenção de

fibras de celulose *Cienciasde nat. Polo Del Conocimiento*, 6(4), 415–437.
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i4.2572>

Zhao, Y., Tian, G., Chen, D., Zheng, P., Yu, J., He, J., Mao, X., & Yu, B. (2019). Effects of varying levels of dietary protein and net energy on growth performance, nitrogen balance and faecal characteristics of growingfinishing pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48.
<https://doi.org/10.1590/RBZ4820180021>

Zhou, F., Lin, D., Dong, L., Hong, Y., Zeng, H., Cai, G., Ye, J., & Wu, Z. (2023). Genetic evaluation for production and body size traits using different animal models in purebred-Duroc pigs. *Frontiers in Veterinary Science*, 10(1).
<https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1274266>

8. ANEXOS

Anexo 1. Resultado de análisis de harina de cáscara de arroz.



INFORME DE RESULTADOS						
IDR 35533-2023						
						Fecha: 05 de julio del 2023
DATOS DEL CLIENTE						
Nombre	ARMIJOS ARIAS FLOR ALEXANDRA					
Dirección	Coop. Pacifico, parroquia La Cuca, canton Arenillas, Prov. El Oro					
Teléfono	0999640338					
Contacto	Ing. Flor Armijos A					
DATOS DE LA MUESTRA						
Tipo de muestra	Harina de cascara de arroz	Cantidad	Aprox. 500 g			
No. de muestras	1 (n=1)	Lote	N/A			
Presentación	Funda plástica	Fecha de recepción	29 de junio del 2023			
Colecta de muestra	Realizado por el Cliente	Fecha de colecta de muestra	N/A			
CONDICIONES DEL ANALISIS						
Temperatura (°C)	25.	Humedad (%)	56.			
Fecha de Inicio de Análisis	30 de junio del 2023					
Fecha de Finalización del análisis	01 de julio del 2023					
RESULTADOS						
CODIGO CLIENTE	CODIGO UBA	PARAMETROS	METODO	RESULTADOS	Unidades	Limite de Cuantificación
Harina de cascara de arroz	UBA-35533-1	Proteína	AOAC 984.13 (Volumetria)	2.52	%	-
		Grasa	Folch Modificado (Gravimetria)	0.47	%	-
		Humedad	AOAC 930.15 (Gravimetria)	7.30	%	-
		Cenizas	INEN 217:2013 (Gravimetria)	18.54	%	-
		Carbohidratos Totales	Clegg-Antrone (Espectrofotometria)	8.10	%	-
		Fibra	AOAC 978.10 (Gravimetria)	44.58	%	-
Observaciones:						
1. Los resultados emitidos en este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) recibidas por el laboratorio. No siendo extensivo a cualquier lote.						
2. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la aprobación escrita por parte del laboratorio.						
3. Nomenclatura: N.D. = No Detectable; N.A. = No aplica						
4. La información relacionada con la toma de muestra fue proporcionada por el cliente. El Laboratorio no se responsabiliza de la veracidad de la información que ha sido proporcionada por el cliente y que puede afectar directamente a la validez de los resultados.						

FOR ADM. 04 R01



Página 1 de 1



Anexo 2. Evidencias de la conducción del experimento.

	
<p>Corral 6 (Tratamiento 2) 02 de septiembre de 2023.</p>	<p>Corral 8 (Tratamiento 1) 5 de agosto de 2023.</p>
	
<p>Corral 3 (Tratamiento 3) 19 de agosto de 2023.</p>	<p>Corral 5 (Tratamiento 4) 19 de agosto de 2023.</p>