



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC  
LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

---

---

**ANÁLISIS ECONÓMICO EN CERDOS ENGORDADOS CON DOS FUENTES DE  
PROTEÍNA (PASTA DE SOYA Y HARINA DE CANOLA) EN SU DIETA**

**TESIS  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**PRESENTA:  
ALFREDO MARTÍNEZ CAMPUZANO**

**ASESOR DE TESIS:  
DR. ROLANDO ROJO RUBIO**

**CO-ASESOR:  
DR. RODOLFO ROGELIO POSADAS DOMÍNGUEZ**

**TEMASCALTEPEC, MEXICO NOVIEMBRE DE 2022.**

---

---

# CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>II. JUSTIFICACION</b> .....	5
<b>III. HIPOTESIS</b> .....	6
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	7
<b>V. REVISION DE LITERATURA</b> .....	8
<b>5.1 Origen del cerdo</b> .....	8
<b>5.2 Historia</b> .....	8
<b>5.3 Situación mundial de la carne de cerdo</b> .....	10
<b>5.4 Principales países productores de carne</b> .....	11
<b>5.4.1 Principales países consumidores de carne de cerdo</b> .....	11
<b>5.4.2 Consumo per cápita de carne de cerdo en el mundo</b> .....	12
<b>5.4.3 Principales estados productores de carne de cerdo</b> .....	12
<b>5.4.4 Principales estados consumidores de carne de cerdo</b> .....	12
<b>5.4.5 Consumo per cápita de carne de cerdo en México</b> .....	12
<b>5.5 sistemas de producción porcina</b> .....	13
<b>5.5.1 Sistema tecnificado</b> .....	13
<b>5.5.2 Sistema semi-tecnificado</b> .....	13
<b>5.5.3 Sistema artesanal, rural o de traspatio</b> .....	14
<b>5.6 Sistema de manejo en bandas en porcinos</b> .....	15
<b>5.6.1 Ventajas del sistema en bandas</b> .....	15
<b>5.6.2 Sistema todo dentro todo fuera</b> .....	15
<b>5.7 Ciclos productivos de los cerdos</b> .....	16
<b>5.7.1 Gestación de la cerda</b> .....	16
<b>5.7.2 Lactación de la cerda</b> .....	16
<b>5.7.3 Ventajas del destete temprano:</b> .....	16
<b>5.7.4 Pre-inicio de los cerdos</b> .....	16
<b>5.9 Ingredientes principales en la dieta</b> .....	17
<b>5.9.1 Harina de soya</b> .....	17
<b>5.9.2 Pasta de canola</b> .....	18
<b>5.9.3 Grano de sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)</b> .....	21
<b>5.10 Requerimientos nutricionales</b> .....	21
<b>Cuadro 3. Recomendaciones prácticas del uso de las diferentes fuentes nutricionales en la nutrición de cerdos</b> .....	22

<b>Cuadro 4. Requerimientos nutricionales de los cerdos (animales reproductores)</b> .....	22
<b>5.10.1 Carbohidratos</b> .....	22
<b>5.10.2 Fibra</b> .....	23
<b>5.10.3 Grasas</b> .....	23
<b>5.10.4 Aminoácidos</b> .....	23
<b>5.12 Tipos de costos</b> .....	27
<b>5.12.1 Costo</b> .....	27
<b>5.12.2 Costo fijo</b> .....	27
<b>5.12.3 Costo variable</b> .....	27
<b>5.12.4 Costo de producción</b> .....	28
<b>5.12.5 Inversión</b> .....	28
<b>5.12.6 Mano de obra</b> .....	28
<b>5.12.7 Depreciación</b> .....	28
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	29
<b>6.1 Localización de la zona de estudio</b> .....	29
<b>6.2 Animales, manejo y tratamientos</b> .....	30
<b>6.3 Alimentación</b> .....	30
<b>6.4 Diseño experimental</b> .....	32
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	33
<b>VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	37
<b>X. ANEXOS</b> .....	42
Determinación de los compuestos nitrogenados .....	45

## I. INTRODUCCIÓN

La carne de cerdo es la más consumida en el mundo, su producción mundial duplica a la carne de res y de pollo. El volumen de producción anual mundial supera los 111 millones de toneladas (FIRA, 2017). Durante el 2016, el promedio mundial de consumo *per capita* fue de 12.43 kg, por debajo del consumo en los países desarrollados que va desde los 20, 30 y hasta 70 kg. Los principales productores mundiales de carne de cerdo son China, la unión europea (UE), Estados Unidos y Brasil. China genera más del doble que la Unión UE, 5 veces más que Estados Unidos y 18 veces más que Brasil (SEPSA, FAO, 2009). La carne de cerdo es considerada una de las principales carnes rojas en la dieta de los mexicanos. Se estima que existen 979.3 mil unidades de producción (UP) dedicadas a la cría y explotación de cerdos. De las cuales 580.9 mil se especializan en la producción de carne, y sólo 27.5 mil poseen algún tipo de tecnificación (Cortes, 2011). En cualquier explotación porcina el mayor costo que se tiene es el de alimentación, constituyendo este el 75-80% de los costos totales. Por tal motivo es de vital importancia suministrar dietas completas, balanceadas que permitan maximizar la eficiencia productiva. En este sentido para lograr parte de tal meta es la de incluir ingredientes de alto valor biológico (perfil aminoacídico), de bajo costo. De manera convencional el ingrediente proteico que por excelencia se utiliza en el balanceo de las dietas en el ciclo productivo del cerdo en engorda es la pasta de soya, esto por su balance de aminoácidos que tiene en su cantidad de proteína; sin embargo en muchas ocasiones su costo es elevado, quizás por la mayor parte de ella se tiene que importar, por lo que resulta necesario buscar alternativas proteicas de menor costo para incluirlas como parte de la ración de los animales, teniendo cuidado de no afectar la eficiencia.

## II. JUSTIFICACION

La economía estudia la manera en que las personas o empresas toman decisiones bajo condiciones de escasez, así como las implicaciones de estas decisiones para la sociedad en general. Bajo este contexto si se considera que los costos de alimentación en la engorda intensiva de cerdos en muchas ocasiones representan más del 75%, en este sentido, de manera continua resulta indispensable buscar alternativas de uso en los ingredientes que representan la mayor proporción de la dieta de los animales, con la finalidad de mejorar la eficiencia y rentabilidad del sistema de producción. De manera convencional el ingrediente proteínico que se utiliza para cubrir los requerimientos de aminoácidos en la alimentación de los cerdos, es la pasta de soya esto es porque su perfil nutricional (48 a 58% de PC, despendiendo de su método de extracción) puede reunir la mayoría de los compuestos nitrogenados que necesitan este tipo de animales; sin embargo en muchas ocasiones este ingrediente es escaso o su costo es bastante elevado lo cual obedece al lugar geográfico donde se ubican los sistemas de producción, como es el caso de la zona sur poniente del Estado de México, donde el transporte incrementa fuertemente el precio de los insumos. Bajo esta situación resulta importante buscar fuentes de proteína alternativas como es la pasta de canola económicos (10 a 15% más barata, con respecto a soya) que a pesar de presentar algunas desventajas nutritivas como es el contenido de energía con respecto a las pasta de soya (2.6 vs 3.4 Mcal/kg MS) y un menor contenido de proteína (9 a 13 unidades porcentuales), aunque la Canola presenta mayores valores relativos de treonina y aminoácidos azufrados. Además a nivel mundial, la producción pasta de canola se ha demandado en mayor cantidad, debido a que el aceite extraído de ésta oleaginosa presenta mayor cantidad del ácido graso linolénico, y la sociedad tiende a consumirlo más el aceite de canola, mejorando así la ingestión de ácidos grasos insaturados, lo que podría disminuir problemas cardiovasculares en la población.

### **III. HIPOTESIS**

La inclusión de la pasta de canola en la dieta durante el ciclo productivo del cerdo engorda no afecta negativamente la respuesta productiva; de tal manera que se mantiene la eficiencia y se mejora el costo económico.

#### **IV. OBJETIVOS**

Realizar un análisis económico en cerdos engordados con dos fuentes de proteína (pasta de soya y harina de canola) en su dieta.

## V. REVISION DE LITERATURA

### 5.1 Origen del cerdo

El cerdo domestico desciende del jabalí. Desde hace más de 5000 años que el hombre comenzó a explotarlo en cautiverio. Las investigaciones paleontológicas han revelado su existencia junto al hombre, en China, desde el siglo XXX A. C.

Existen dos teorías principales con respecto al origen de los cerdos; una sostenía la hipótesis de que el jabalí europeo es el antepasado único y directo del cerdo moderno; la otra defiende a idea de la ascendencia doble partiendo del jabalí europeo y el jabalí asiático. Las razas de los cerdos se derivaron de dos especies; *Sus Scrofa*, que es el cerdo europeo y *Sus Vittatus*, que es el cerdo salvaje del este y sudeste de Asia. Las especies de jabalís, que aún vive en los bosques alimentándose con pequeños animales, tubérculos, frutos, pastos nativos, tiene colmillos para su defensa y buena velocidad para huir de animales mayores, unos cuartos musculosos, cuerpo corto y un tren anterior musculoso que le dan rapidez de movimiento y agilidad, su cabeza es pesada e insertada firmemente para golpear a sus enemigos (Bosco, 1998).

### 5.2 Historia

Los primeros fósiles de cerdo fueron encontrados en el periodo del Mioceno Superior, y a diversas especies. En periodos sucesivos y superiores, se encuentran vestigios en muchas regiones de Asia, África y Europa.

La figura del cerdo se encontró en bajo relieve que representaba la ceremonia, en la que se sacrificaba un cerdo y un toro, para calmar la ira de los dioses. El cerdo original vivió en forma sedentaria alrededor de los pueblos y posteriormente el hombre lo confinó y empezó a alimentarlo (Pinheiro, 1987).



El mundo cuenta actualmente con unos mil millones de cerdos, de los cuales poco más de la mitad se hallan en china. De acuerdo con las estadísticas difundidas por la FAO correspondientes al 2007. Los 15 países más consumidores de carne de cerdo son europeos, excepto Chipre. Los menores consumidores son casi todos los países de bajo consumo de carne en general, excepto Guyana en cuya dieta cárnica son carnes blancas (Vieites, 2011).

La producción mundial de carne de cerdo creció a una tasa promedio anual de 1.6 % entre 2007 y 2016. Se espera que el consumo mundial de carne de cerdo incremente 2.5 % a tasa anual en 2017, para ubicarse en 110.7 millones de toneladas. En conjunto, los cuatro principales países productores aportaron el 83.4 % de la oferta mundial de carne de cerdo en 2016. México ocupa la novena posición, con una participación del 1.3 % en la producción mundial de este tipo de carne, con 1.4 millones de toneladas (FIRA, 2017).

La porcicultura ocupa el tercer lugar en importancia por su aportación a la producción total de cárnicos; su participación en el producto interno bruto es marginal. Su relevancia reside en que tiene una amplia y compleja cadena productiva que incluye la producción de granos forrajeros y oleaginosas, fármacos, productos biológicos, entre otros.

En el país hay una variedad de sistemas productivos que se diferencian entre sí, por su nivel de tecnología aplicada, en nivel de integración vertical y horizontal y los mercados que tienen. Se agrupan en tres categorías: tecnificado, semi-tecnificado y de traspatio (Hernández *et al.*, 2014).

La carne de cerdo es considerada una de las principales carnes rojas en la dieta de los mexicanos. En la producción de carne de cerdo se estima que existen 979.3 mil unidades de producción con cría y explotación de animales en México. De las cuales 580.9 mil están dedicadas a la explotación de porcino para carne, y sólo 27.5 mil poseen algún tipo de tecnificación (Cortes, 2011).

### 5.3 Situación mundial de la carne de cerdo

La producción mundial de carne de cerdo en el 2020 se estima en 109,2 millones de toneladas, en un 0,8% menos que en el 2019, esto debido a las reducciones de producción causadas por la peste porcina africana (PPA) en china, Filipinas y Vietnam. En cambio, Estados Unidos, Brasil, la Unión Europea, la Federación Rusa, Canadá, México y Chile se registraron crecimientos moderados de producción, las cuales compensaron parcialmente las bajas en otros lugares. (FAO, 2021)

El comercio mundial total de la carne de cerdo alcanzó los 11,9 millones de toneladas en 2020 (+24,5% interanual), esto debido a las importaciones chinas, lo cual se duplicaron a 5,7 millones de t, lo cual representa alrededor del 50% de las importaciones mundiales. Derivado a esta necesidad de grandes cantidades, China emitió licencias de exportación a muchas plantas de procesamiento a varios países, los cuales incluyó Brasil, Chile y México. Los precios anuales de carne de cerdo cayeron de los USD 2.290 en 2019 a los USD 2.209 por t en 2020, que tuvo un descenso del 3,6%. (FAO, 2021).

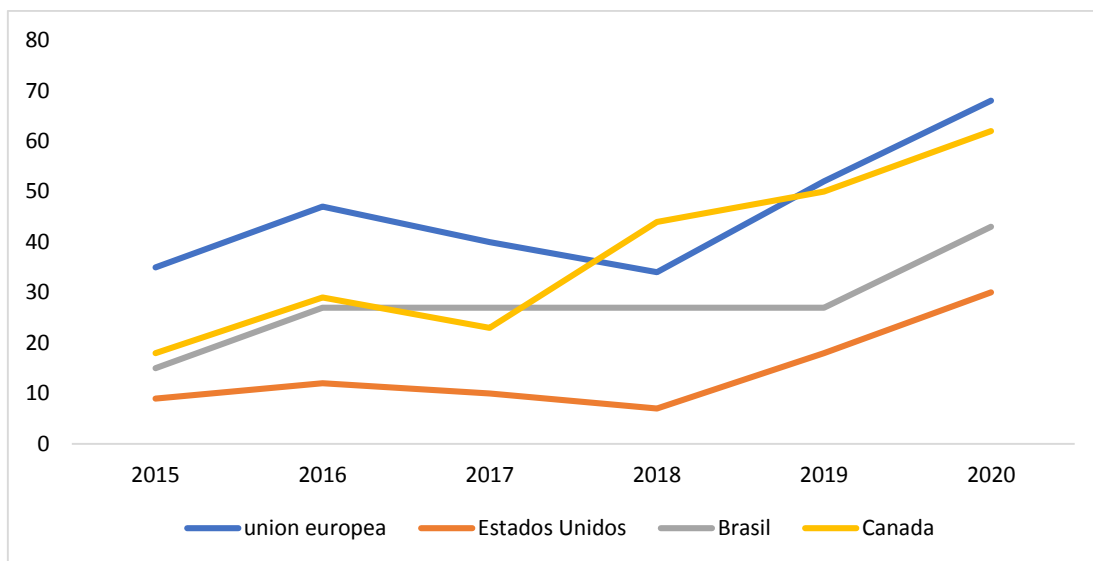


Figura 1. Exportaciones de carne de cerdo a China como porcentaje de las exportaciones totales entre los cuatro principales exportadores (FAO, 2021).

## 5.4 Principales países productores de carne

En el primer lugar del ranking mundial de los productores de carne en el 2022 está ocupado por China, teniendo un total del 46,2% dentro del total general (110,5 Mt).

En el segundo lugar tenemos la Unión Europea, que tiene una participación del 20,9% y en el tercer lugar se encuentra Estados Unidos con una participación del 11,1%.

Al igual se tiene que mencionar la participación de Latinoamérica en este ranking, que es Brasil con el puesto número 4 y México con el número 8.

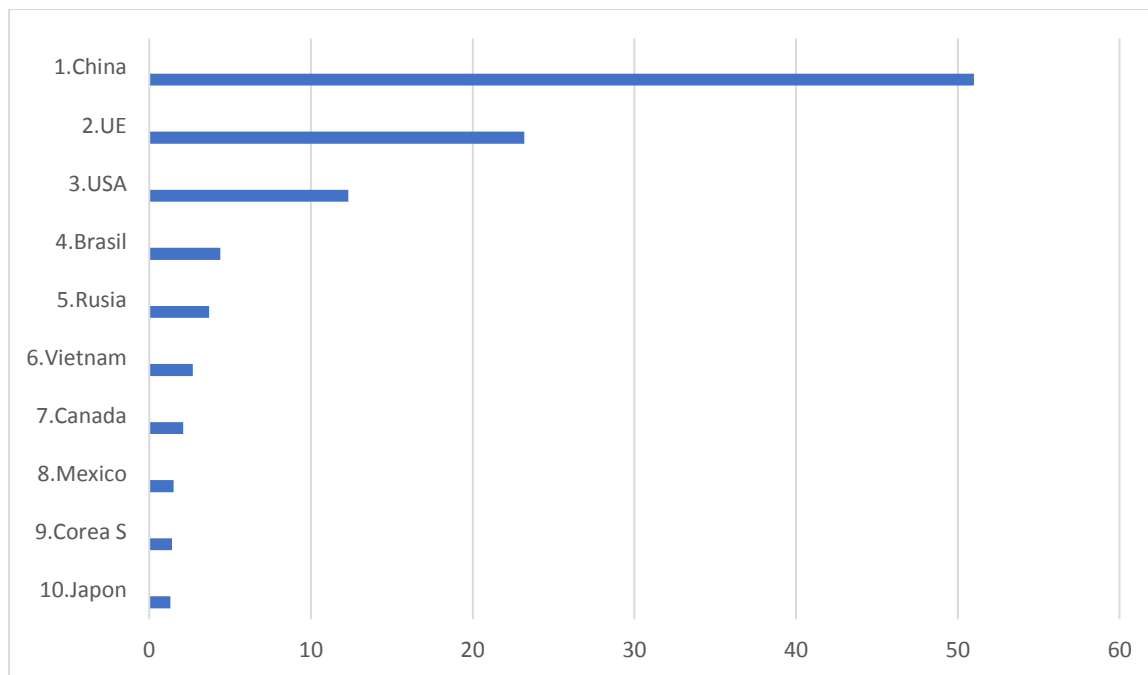


Figura 2. Países productores de carne de cerdo en el mundo (USDA, 2021)

### 5.4.1 Principales países consumidores de carne de cerdo

El principal consumidor de carne en el 2021 fue China, tomando en cuenta que sus regiones económicas son Hong Kong, Macao y China Continental, ya que sus consumos fueron de los 61, 52 y 37 Kg/hab.

El segundo lugar lo ocupó Bielorrusia, sucesivamente le sigue la Unión Europea, Corea del Sur y Vietnam. En Latinoamérica el principal consumidor fue México con un total de 19.4 kg/hab.

[https://www.3tres3.com/latam/ultima-hora/estimaciones-de-consumo-de-carne-de-cerdo-en-latinoamerica\\_13715/](https://www.3tres3.com/latam/ultima-hora/estimaciones-de-consumo-de-carne-de-cerdo-en-latinoamerica_13715/).

#### **5.4.2 Consumo per cápita de carne de cerdo en el mundo**

El consumo per cápita anual en el mundo es de 44 kg aproximadamente, el cual el 39% corresponde a la carne de cerdo, el 33% con la carne de aves, el 23% con la de bovino y el 5% representa a la carne de ovino y caprino. (El sitio porcino)

#### **5.4.3 Principales estados productores de carne de cerdo**

Los principales estados productores de carne en México son Jalisco, Sonora, Puebla, Yucatán, Veracruz y Guanajuato, que en total producen más de un 1 millón de toneladas por año, lo que representa más del 77% de la producción total.

#### **5.4.4 Principales estados consumidores de carne de cerdo**

Jalisco es el principal estado consumidor de carne de cerdo seguido del Estado de México, ciudad de México, Veracruz y Puebla, que concentran el 51.3%.

<https://www.eloccidental.com.mx/local/jalisco-se-ubica-entre-los-cinco-estados-que-mas-consumen-carne-de-cerdo-5531011.html>

#### **5.4.5 Consumo per cápita de carne de cerdo en México**

De acuerdo con México tiene un consumo de 19.4 kg por habitante.

## **5.5 sistemas de producción porcina**

La carne de cerdo se ha convertido en la de mayor consumo global a nivel global, su producción registra un crecimiento tanto en el número de cabezas como en el volumen de carne producida. Al pasar el tiempo el cerdo se ha ido transformando en un animal muy rustico en un animal sumamente eficiente capaz de transformar alimentos, principalmente granos a proteína, (el despertar del campo).

### **5.5.1 Sistema tecnificado**

Es aquella que cuenta con avances tecnológicos, de manejo, nutrición, sanitarios y genéticos; con un control estricto de animales y personal, así como de medidas sanitarias. Su manejo es establecido cada día, también se utilizan registros dentro de cada área y programas de cómputo para recopilar y analizar información obtenida dentro de la granja.

El manejo zoonosanitario en la mayoría de los casos es preventivo, mediante estudios epidemiológicos, medidas de bioseguridad y de inmunización. Este sistema abarca el 40-50% del inventario en México y aporta el 75% de la producción nacional de la carne de cerdo, (el despertar del campo).

### **5.5.2 Sistema semi-tecnificado**

Trata de tener algunas de las condiciones del sistema tecnificado, pero con los recursos económicos limitados y sin desarrollarlos con la amplitud que se aplica en el sistema intensivo, (el despertar del campo).

En este sistema las medidas sanitarias son variables, así como la genética de los animales, el control de producción es cuestionable en muchos de los casos se manejan líneas genéticas mejoradas de orígenes diversos.

En el sistema semi-tecnificado la falta de aplicación de un flujo de producción y el cálculo de instalaciones como herramientas para lograr una planeación más precisa, esto origina problemas de hacinamiento y manejo, esto causa problemas sanitarios y de bienestar animal que tienen consecuencias desfavorables en el nivel de producción, (el despertar del campo).

### **5.5.3 Sistema artesanal, rural o de traspatio**

Este sistema se clasifica a partir del número de animales que, en manera general, consiste en aquellas que tienen entre una y 50 reproductoras o el equivalente en progenie, en otro tipo de clasificación se puede considerar granja a pequeña escala: a aquella con un máximo de 192 animales.

Este tipo de productores pueden localizarse en traspatios de zonas urbanas o periurbanas, en condiciones rurales. Con un porcentaje de distribución en México del 30% es una actividad porcícola de subsistencia; en ocasiones de ahorro, pero en más casos se puede decir que es un negocio que se considera una empresa a pequeña escala o familiar que son manejadas por mujeres y niños.

El principal problema de este sistema es la falta de acceso a tecnologías adecuadas, ya que la copia del sistema tecnificado para granjas industriales no es adaptable para este tipo de pequeñas empresas ni sostenible financieramente, (INTAGRI, 2019).

## **5.6 Sistema de manejo en bandas en porcinos**

La banda se define como un lote de animales que tienen el mismo estado fisiológico, por ejemplo ``hembras en servicio'', ``hembras en primera semana de gestación'', ``hembras en primera semana de parto'', etc.

El sistema de bandas es un método de organización de trabajo, en donde el principal objetivo es la planificación global de la explotación y de este sistema se cuelgan todos los manejos: reproductivos, nutricionales, alimenticios, sanitarios, manejo personal, etc. (Gonzales, 2019).

### **5.6.1 Ventajas del sistema en bandas**

Aumenta la efectividad del trabajo en la granja, ya que se puede organizar de una mejor manera las tareas.

Permite la especialización del personal, operarios especializados y capacitados para las tareas de cada sector (reproducción, maternidad, recría, engorde y planta de alimentos).

Disminución de riesgos sanitarios.

También permite hacer proyecciones de consumos de alimento, ventas y flujo de caja e igual permite planificar: compra de insumos veterinarios, vacaciones del personal, (Gonzales, 2019).

### **5.6.2 Sistema todo dentro todo fuera**

Este término implica el vaciado completo (de animales) de una sala, nave o edificio, su limpieza y desinfección así para dejar un tiempo en reposo (sin animales) antes de introducir un nuevo lote.

Este sistema impide que animales de distintas edades entren en contacto, por lo que corta, los ciclos de infección de organismos patógenos al impedir que los animales de más edad infecten a los que acaban de entrar, (diccionario porcino).

## **5.7 Ciclos productivos de los cerdos**

### **5.7.1 Gestación de la cerda**

La gestación de las cerdas dura 114 días, es decir 3 meses, 3 semanas con 3 días, si la cerda a las 3 semanas de ser cubierta no presenta signos de celo se considera preñada.

Una hembra preñada requiere de abundante alimento rico en nutrientes, sobre todo al final de la gestación. Se le debe de suministrar agua a voluntad y una cama limpia cuando este próxima al parto.

Durante este periodo las hembras aumentan demasiado de peso, por consecuencia del crecimiento de los lechones y la capacidad de la hembra de guardar reservas para la lactación, (Gelvez, 2021).

### **5.7.2 Lactación de la cerda**

Es un periodo crítico, ya que tiene un fuerte impacto sobre la salud, la supervivencia y el crecimiento de los cerdos al final de su cría. En los últimos años la duración de la lactancia se ha reducido marcadamente ya que actualmente las granjas destetan a los 28 días o antes, (Pie, 2020)

### **5.7.3 Ventajas del destete temprano:**

Se evita la perdida de condición corporal (CC) en la cerda.

Se acorta el ciclo reproductivo (más partos/año).

### **5.7.4 Pre-inicio de los cerdos**

La alimentación de pre-inicio es la práctica de alimentar a los lechones con una dieta solida mientras ellos siguen mamando de la cerda. Esto empieza y promueve el desarrollo de enzimas



digestivas del intestino, lo cual permite que el lechón digiera los nutrientes de las fuentes de alimentación que no provienen de la leche, (el sitio porcino, 2014)

## **5.9 Ingredientes principales en la dieta**

### **5.9.1 Harina de soya**

Los frijoles de soya enteros (*glycine max*) contienen un 15% a 21% de aceite, que normalmente se elimina mediante la extracción con solventes durante la preparación de la comida. La harina se tuesta, proceso que mejora el valor biológico de su proteína: el contenido de proteína esta estandarizado 45.5 a 48.5 % (NRC, 2012).

La harina de soya se produce en grandes cantidades y cada vez mayores en los Estados Unidos, el cual es un ingrediente muy favorecido en los alimentos porque es bastante apetecible, altamente digerible y tiene un alto valor energético que da como resultado excelentes rendimientos cuando se utiliza para diferentes especies animales.

La metionina es el aminoácido más limitante para las especies mono gástricas, y el contenido de vitamina B es bajo. En valor general la harina de soya se considera que es la mejor fuente de proteína vegetal disponible en cualquier cantidad y es la fuente de proteína estándar en muchas raciones utilizadas para cerdos y pollos de engorda.

Al igual que con la mayoría de las demás semillas oleaginosas, la soya tiene una serie de sustancias toxicas, estimulantes o inhibidoras. Por lo tanto, la soya cruda tiene un valor nutricional mas bajo que la soya tratada con calor.

La harina de soya descascarada y extraída con solvente se usa a veces en alimentos para animales.

El proceso de descascarillado da como resultado un mayor contenido de proteína y reduce el contenido de fibra.

### 5.9.2 Pasta de canola

La pasta de canola se origina de la colza, de la familia de la Col o Brassicas, la colza como tal contiene alrededor de 30 a 60 de ácido erúxico y es el nombre común del *cis*-13 docosenoico (22:1 n-9) un ácido graso monoinsaturado que se encuentra en semillas tradicionales comestibles del género Brassicaceae como la colza y la mostaza, en la actualidad existen variedades mejoradas con valores que van del 0.3 (canola australiana) a 12% (canola canadiense). El ácido erúxico puede provocar acumulación de grasa en el corazón, disminución la fuerza del latido del corazón debido a una falla mitocondrial y una infiltración de células mononucleares seguida de una necrosis focal y fibrosis del miocardio (<https://acsa.gencat.cat/es/actualitat/butlletins/acsa-brief/acid-erucic-un-contaminant-present-en-olis-i-greixos-vegetals/>, consultada el 19/10/2022).

La harina de canola podría ser más competitiva en el mercado internacional si presentara más energía y proteína, y menos glucosinolatos, sin embargo, este alimento presenta menos energía y proteína y tres veces más de fibra que la pasta de soya (Cuadro 1). Pero es importante mencionar que la harina de canola tiene más vitaminas del complejo B y aceites esenciales, aspectos que contribuyen a mejorar el metabolismo de la energía de la dieta (Bell, 1993), ahora bien, es bien cierto que el criterio de utilización de energía no puede ser simplemente aplicado a las harinas, dado que estas son afectadas por varios aspectos, entre ellos se tiene el procesamiento de la semilla, especie y edad del animal. Existen diferencias importantes entre especie animal sobre su habilidad para asimilar la energía digestible o metabolizable de la harina de canola, esto por la concentración de los glucosinolatos de tal forma que una reducción de estos compuestos dentro de la materia seca (Cuadro 2) de la pasta de canola mejoraría en mucha los valores de energía metabolizable. La harina de canola puede considerarse en excelente alimento proteínico (35 %PC) para poder

utilizarse en el balanceo de raciones para cerdos, pero la disponibilidad de energía de su materia seca es un factor crítico en la formulación.

Cuadro 1. Composición química y valores de energía bruta de pasta de canola y harina de soya

<b>Componente</b>	<b>Harina de canola<sup>z</sup></b>	<b>Harina de descascarillada<sup>y</sup></b>	<b>soya</b>
Humedad (%)	8.5	10.0	
Proteína cruda (%)	38.29	48.1	
Extracto etereo (%)	3.59	0.7	
Fibra detergente acido (%)	17.47	5.0	
Fibra detergente neutra (%)	21.54	7.1	
Fibra cruda (%)	12.01	3.4	
Energía bruta (MJ Kg <sup>-1</sup> )	18.64	20.07	
<b>Minerales</b>			
Fosforo (%)	1.03	0.65	
Calcio (%)	0.64	0.30	
Potasio (%)	1.24	2.11	
Magnesio (%)	0.52	0.29	
Azufre (%)	0.86	0.42	
Sodio (%) <sup>x</sup>	0.7	-	
Boro (%) <sup>x</sup>	2.1	-	
Cobre (µg g <sup>-1</sup> )	5.80	23	
Hierro (µg g <sup>-1</sup> )	144	140	
Manganeso (µg g <sup>-1</sup> )	50.1	31	
Molibdeno (µg g <sup>-1</sup> )	1.4	-	
Selenio (µg <sup>-1</sup> )	1.12	0.10	
Zinc (µg <sup>-1</sup> )	69.4	52	
<b>Vitaminas (mg kg<sup>-1</sup>)<sup>w</sup></b>			
Vitamina E (alfa-tocoferol)	14.5	2.4	
Acido pantoténico	9.5	16.3	
Niacina	160	28	
Colina	6700	2609	
Riboflavina	5.8	2.9	
Biotina	1.07	0.32	
Acido fólico	2.3	0.6	
Piridoxina	7.2	6.0	
Tiamina	5.2	6.0	

<sup>z</sup> Bell y Keith, 1991

<sup>y</sup> Consejo nacional de investigación (1982<sup>a</sup>), tablas canadienses de composición de alimentos (1982). N° de alimentación 5-20-637.

<sup>x</sup> Appleqvist y Ohlson (1972)

<sup>w</sup> Datos de vitaminas para la pasta de canola, harina de canola canadiense, 1990. Consejo de canola Canadiense (1990)

Cuadro 2. Rangos reportados de energía metabolizable (EM) (alto contenido de glucosinolato) de colza, pasta de canola (bajo contenido de glucosinolato) y harinas descascarilladas con bajo contenido de glucosinolato (base de materia seca)

Animal de prueba	Nivel de glucosinolato	de	Rango de EM (MJ Kg <sup>-1</sup> )	Referencias
Porcina <sup>z</sup>	Alta		10.41-13.73	1 <sup>y</sup> , 2
	Baja		11.30-14.63	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
	Muy bajo		14.76	9
	Bajo descascarillado		12.49-16.06	11, 12
Aves de corral				
Gallinas	Alto		7.50-9.35 (ME <sub>n</sub> )	12, 15
Gallos	Alto		8.31-10.60 (TME <sub>n</sub> )	13
Pollitos	Bajo		7.41-10.90 (AME <sub>n</sub> )	14
Gallos	Bajo		8.60-9.51 (TME <sub>n</sub> )	13
Pollitos	Bajo descascarillado		8.79-9.96 (ME <sub>n</sub> )	16
Rumiantes	bajo		11.7-13.4 (ME) <sup>x</sup>	17, 18, 19
			7.2-8.3 (NE <sub>1</sub> ) <sup>w</sup>	20,21

<sup>z</sup>los resultados porcinos informados como DE se multiplicaron por 0.93 para convertirlos a ME (Bourdon y Aumaitre 1990) cuando se informaron las desviaciones estándar en lugar de los rangos, se estimó que los rangos eran Y±2 DE.

<sup>y</sup>(1) Rundgren (1983); (2) Mayo y Bell (1971); (3) Rundgren (1983); (4) Justo (1983); (5) Tomie (1984); (6) Noblet et al. (1990); (7) Agunbiade et al. (1991); (8) Bell y Keith (1991); (9) Bell et al. (1991); (10) Bourdon y Aumaitre (1990); (11) Bell (1993); (12) Rundgren et al. (1985); (13) Sibbald (1986); (14) Clandinin y Roo Bice (1983); (15) Askbrant y Hakannson (1984); (16) Shires et al. (1983); (17) Jarl (1951); (18) Sharma et al. (1980); (19) Bush et al. (1978); (20) Anonimo (1981); (21) NRC (1989).

<sup>x</sup>Estimado a partir de valores de energía bruta (ref. 8), digestibilidad de energía o materia orgánica (refs. 17, 18, 19) y conversión de DE a ME multiplicando por 0.79 (ref. 20).

<sup>w</sup> Energía neta para la lactancia, asumiendo la ingesta de EM a 3 veces el requerimiento de mantenimiento (ref. 20).

### **5.9.3 Grano de sorgo (*Sorghum vulgare*)**

Las diversas variedades de sorgo son capaces de soportar el calor y la sequía mejor que la mayoría de otros cultivos de cereales. Además, es resistente a plagas como el gusano de la raíz y el barrenador del maíz. Se adapta a una amplia variedad de suelo.

La semilla de todas las variedades de sorgo es pequeña y relativamente dura, por lo cual requiere algún procesamiento para una utilización animal óptima.

Químicamente, los sorgos graníferos son similares al maíz, con el contenido de proteína promedio alrededor del 11% (base seca).

A nivel mundial, la mayor parte de la semilla de sorgo se produce en los Estados Unidos, India, China, y Argentina, con cantidades menores en otros países principalmente en África.

### **5.10 Requerimientos nutricionales**

Los requerimientos nutricionales de los cerdos han evolucionado de manera acelerada y están acorde a las líneas genéticas de los animales que obedecen a la demanda en la calidad de la carne a la sociedad (carnes magras, inocuas). Por tal motivo el extensionista nutriólogo debe de conocer las principales fuentes bibliográficas confiables donde se establecen los principales alimentos y composición química de ellos para poder hacer la combinación perfecta para maximizar la eficiencia, en este sentido existe el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC, 2012), el Institut National de la Recherche Agronomique (INRA, 1984), Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2006) y el National Swine Nutrition Guide (NSNG, 2010) (García-Contreras, et al., 2012). En estas fuentes bibliográficas se encuentra información de cada una de las etapas fisiológicas por las cuales pasa un cerdo durante su etapa productiva considerando su genética, sexo, nivel de producción, condiciones específicas de manejo, sin olvidar que para balancear una dieta se debe de considerar los niveles óptimos de inclusión de los

ingredientes que garanticen el alcanzar las metas establecidas en los sistemas de producción (Cuadro 3). En este sentido en el Cuadro 5 y 6, se muestran los requerimientos nutricionales establecidos en las diferentes etapas fisiológicas. Las necesidades de energía pueden ser expresado como energía digestible (ED), Energía Metabolizable (EM) o Energía Neta (EN), sin embargo, es frecuente el uso de los valores de EM, INRA en 2010, recomendó el uso de la EN para la formulación de raciones, debido a su precisión. Sin embargo, no siempre se cuenta con estos estimadores en todos los ingredientes. Por otra parte el uso de los coeficientes de digestibilidad de la proteína y aminoácidos permite hacer uso del concepto de “Proteína Ideal”, porque de esta forma se mejora la eficiencia con que la proteína ingerida en el consumo de materia seca es transformada en carne, disminuyendo así el desperdicio metabólico nitrogenado (García-Contreras, et al., 2012).

### **Cuadro 3. Recomendaciones prácticas del uso de las diferentes fuentes nutricionales en la nutrición de cerdos**

### **Cuadro 4. Requerimientos nutricionales de los cerdos (animales reproductores)**

### **Cuadro 5.**

#### **5.10.1 Carbohidratos**

Los carbohidratos o también llamados hidratos de carbono están formados por carbono, hidrogeno y oxigeno combinados en diversa proporción para constituir azucares, almidones y fibras. Estos se utilizan por el animal para obtener energía al fin de mantener sus funciones normales de su organismo y sostener su actividad (libro producción del cerdo)

### **5.10.2 Fibra**

La fibra es considerada con frecuencia como un elemento de la pared celular, es un carbohidrato muy complejo, siendo los elementos principales celulosa y lignina. En los rumiantes la fibra se transforma en azúcares simples por la acción bacteriana en el rumen, pero en los animales monogástricos tal es el caso del cerdo digiere mal la fibra.

En los cerdos jóvenes no se debe administrar alimentos con alto contenido de fibra ya que su crecimiento se verá afectado notablemente.

### **5.10.3 Grasas**

Las grasas y el aceite pueden ser considerados como carbohidratos concentrados.

La proteína es necesaria para la transformación y restauración del tejido muscular, al igual para producir leche en las cerdas lactantes y para favorecer el crecimiento del cuerpo.

### **5.10.4 Aminoácidos**

Los 20 aminoácidos que de manera común se encuentran en las proteínas se presentan en el siguiente cuadro X, los cuales se clasifican en esenciales y no esenciales. Los aminoácidos esenciales son aquellos que no pueden ser sintetizados por los cerdos a partir de metabolitos ordinariamente disponibles en sus células a la tasa que son demandados para fines de mantenimiento, crecimiento, producción y reproducción (NRC, 2012).

Cuadro X. Aminoácidos esenciales, no esenciales y condicionados esenciales en cerdos

Esenciales	No esenciales	Condicionados esenciales
Histidina	Alanina	Arginina
Isoleucina	Asparagina	Cisteina
Leucina	Aspartato	Glutamina
Lisina	Glutamato	Prolina
Metionina	Glicina	Tirosina
Fenilalanina	Serina	
Treonina		
Triptofano		
Valina		

De las cuales las más importantes es: lisina, triptófano y metionina.

#### **5.10.5. Minerales y vitaminas**

Los minerales y las vitaminas son elementos protectores y conservadores de la salud de los animales. Entre los principales minerales de interés en los ovinos se pueden mencionar: el calcio, fósforo, potasio, yodo, cobre, hierro y otros. Una alternativa de bajo costo para administrar minerales en la dieta de nuestro rebaño es realizar una mezcla de carbonato de calcio y sal común en relación 2:1, proporcionando 8 a 10 gramos por ovino al día.

Todos los granos de cereales son bajos en calcio y tienen niveles altos de fósforo que conducen a una relación calcio: fósforo menor al ideal de 2:1. Generando en el animal una disminución del consumo y del crecimiento, huesos blandos propensos a fracturas y desarrollo de piedras urinarias, las cuales bloquean las vías urinarias derivando en la ruptura de la vejiga, fugas de orina en el abdomen, y generar el llamado “vientre del agua”. De acuerdo a lo anterior, para prevenir estos problemas es recomendable suministrar calcio cuando se alimenta a las ovejas y carneros con cereales. (Oriella & Silvana, 2012).



Las vitaminas y los minerales se pueden considerar los “reguladores” de la dieta de la oveja. Estos reguladores se pueden comparar con los interruptores de una casa: encienden y apagan cosas cuando es necesario, ajustan la temperatura para mantener las cosas confortables y ayudan procesos de información.

Las vitaminas y minerales sólo se necesitan en cantidades muy pequeñas, pero la carencia – o el exceso – de una vitamina o un mineral críticos pueden provocar graves problemas sobre la salud del rebaño. (COLE & RONNING, 1980)

### **5.10. 5.1. Minerales.**

Los minerales requieren especial atención y cuidado como nutrientes esenciales en la alimentación de los ovinos ya que participan en numerosas actividades metabólicas tales como: cofactores necesarios mantenimiento del equilibrio corporal y en el metabolismo basal. Los minerales esenciales se clasifican dependiendo de la concentración que necesita el animal y de la proporción de funciones que desempeña dicho elemento en su organismo.

Los elementos minerales necesarios se dividen en dos grupos, tomando en cuenta las cantidades relativas que de ellos se necesitan en la dieta, y son: los macro minerales: calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S); y los micro minerales conocidos también como minerales traza u oligoelementos, reciben este nombre pues solo se necesitan cantidades pequeñas y estos son: hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), cobalto (Co), yodo (Y), molibdeno (Mo), selenio (Se); el siguiente grupo de minerales ha sido considerado como probablemente esenciales, flúor (F), cromo (Cr), silicio (Si), Vanadio (V), Arsénico (As) y Níquel

(Ni). (Espinoza, 2016). Los minerales se pueden obtener mediante una mezcla de minerales traza. (SIMMONS & EKARIUS, 2009).

#### **5.10.5.2. Vitaminas**

Las vitaminas son sustancias naturales presentes en los animales, esenciales para su salud y que ejercen una influencia vital en la nutrición. Varias vitaminas son sintetizadas en el organismo del animal. Los suplementos de vitaminas actualmente constituyen una parte esencial en la alimentación del ganado de granja. Se necesitan en cantidades muy pequeñas para el metabolismo normal del cuerpo; cada una contiene sus funciones específicas y la falta de una sola vitamina en la dieta de una especie que la requiere produce síntomas específicos de deficiencias e incluso puede producir la muerte del animal a la larga. (Espinoza, 2016).

Entre las vitaminas existen la A, D, E, B, K, C, y otras. Los rumiantes adultos son prácticamente independientes en cuanto a necesidades de vitaminas hidrosolubles (B y C), ya que éstas son sintetizadas por los microorganismos del rumen. Sin embargo, se requiere de un adecuado aporte de ciertos minerales para la síntesis de vitamina B12. En el caso de las vitaminas liposolubles (A, D, E y K), sólo los microorganismos del rumen son capaces de efectuar la síntesis de vitamina K, siendo las vitaminas A, D y E aportadas en la dieta. Aportes dietarios de vitamina A pueden ser importantes cuando se presentan sequías prolongadas (mayores a 6 meses) y las reservas hepáticas de retinol del animal no logran suplir el déficit. La carencia de vitamina A provoca disfunciones en la visión y afecta la actividad de los epitelios gonadales, afectando la reproducción de los ovinos. (Oriella & Silvana, 2012).

Las vitaminas se obtienen de forma adecuada a través de las buenas comidas verdes, como el pasto y el heno. (SIMMONS & EKARIUS, 2009)

## **5.12 Tipos de costos**

### **5.12.1 Costo**

Es la suma de las inversiones que se han efectuado en los elementos que concurren en la producción y venta de un artículo o desarrollo de una función (Andres y Napoles, 2016). Según (Lindegard y Galvez 2001, p.14) se entiende por costo la medición de los esfuerzos asociados con la fabricación de un bien o la prestación de un servicio.

### **5.12.2 Costo fijo**

Son aquellos que no varían cuando se producen pequeñas modificaciones en el nivel de actividad de una compañía. Según (Del Rio 2012) son aquellos cuya magnitud permanece constante, independientemente de los cambios registrados en el volumen de operaciones realizadas. Por consiguiente, son todos los que no sufren modificaciones, a pesar de que la producción o las ventas aumenten o disminuyan.

### **5.12.3 Costo variable**

Son aquellos en los cuales el costo total tiende a cambiar en proporción directa a los cambios del volumen o de producción, por lo tanto, el costo unitario, permanece constante.

Según (Del Rio 2012) son aquellos cuya magnitud cambia en razón directa con el volumen de las operaciones realizadas.

Con relación a la producción, son los que sufren aumentos o disminuciones proporcionales a los crecimientos o menguas registrados en el volumen de ventas u operación.

#### **5.12.4 Costo de producción**

Es aquello que representa todas las operaciones realizadas desde la adquisición del material, hasta su transformación en artículo de consumo o servicio (Del Rio 2012)

#### **5.12.5 Inversión**

Según (Morales, 2004) refiere básicamente a la aplicación de recursos con la finalidad de obtener un beneficio a futuro, también se entiende como cualquier gasto efectuado para el mantenimiento de la empresa, o se considera como la compra de bienes duraderos que produce una renta monetaria.

#### **5.12.6 Mano de obra**

Es el esfuerzo físico o mental gastado en la producción de un producto terminado.

Según (Torres et al., 2009) define como el costo del tiempo que los trabajadores invierten en el proceso productivo y que debe ser cargado a los productos.

#### **5.12.7 Depreciación**

Es la pérdida de valor de un bien o activo (maquinaria, edificio, equipos, etc.) que sufren debido al uso, desgaste u otros factores. También se puede decir que es el proceso por el cual un activo disminuye su valor y utilidad con el uso o con el tiempo (Mora et al., 2012)

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante todo el periodo experimental, los animales fueron cuidados, manejados y sacrificados de acuerdo con los lineamientos de la norma: NOM-051-ZOO-1995, cuidado humanitario de los animales durante la movilización y NOM-033-ZOO-1995: sacrificio de los animales domésticos y de vida silvestre.

### 6.1 Localización de la zona de estudio

El experimento se desarrolló en la Unidad Metabólica de Nutrición Animal del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, de la Universidad Autónoma del Estado de México, en Temascaltepec, la cual se ubica al sur poniente del Estado de México, México. La región presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y una precipitación promedio de 1160 mm anuales y temperatura media anual de 22 °C.



Figura 3. Localización Geográfica del Centro Universitario UAEM Temascaltepec

## **6.2 Animales, manejo y tratamientos**

Se utilizaron 20 lechones machos destetados (York x Landrace x Duroc) con peso vivo inicial promedio de  $13.86 \pm 0.04$  kg, y edad de 42 días. Todos los animales fueron desparasitados (0.5 ml de Ivermectina, SanFer®, México D.F., México) y vitaminados (1.0 ml de Vigantol ADE, Bayer®, México D.F., México). La movilidad y el manejo implicado a los animales estuvo bajo la NOM-033-ZOO-1995 (trato humano en la movilización de animales). Posterior a este periodo, a los animales se les inició con la dieta de inicio, crecimiento, desarrollo y engorda (Cuadro 1), hasta alcanzar su peso comercial ( $110 \pm 1$  kg). Adicionalmente, los animales se acomodaron en forma individual en corraletas, donde cada una contó con comedero y bebedero. Las etapas tuvieron una duración aproximada de 25 días para inicio, 21 días para crecimiento, 22 días para desarrollo y 27 días para finalización. Al inicio del experimento, al inicio y final de cada etapa productiva cada cerdo fue pesado de manera individual y este peso fue usado como factor de bloqueo, de tal manera que las parejas serán formadas en base al peso inicial. Los animales fueron asignados a uno de dos tratamientos: T1: Dieta basal (pasta de soya, como fuente de proteína)  
T2): Dieta basal (pasta de soya y harina de canola)

## **6.3 Alimentación**

Los cerdos recibieron una dieta totalmente mezclada, la cual estuvo constituida con los ingredientes que se especifican en el cuadro 1. Esta dieta se ofreció en tres frecuencias de alimentación (6, 12 y 18 h) con la finalidad de tener digestión homogénea a través del día y así evitar trastornos metabólicos y variaciones fuertes en el consumo de alimento, y de esta manera poder evaluar de una manera más exacta el efecto de los tratamientos. El periodo de alimentación estuvo determinado de acuerdo con el consumo de kg de alimento por etapa.

Cuadro 1. Ingredientes utilizados en la dieta basal que se proporcionó a los cerdos, durante el periodo experimental

Ingrediente (%)	Etapa productiva			
	Inicio	Crecimiento	Desarrollo	Engorda
Sorgo (molido)	68	71.5	73.0	68.0
Pasta de soya	22.5	18.0	14.5	20.0
Pasta de canola	5.0	6.0	8.0	7.5
Aceite	2.0	2.0	2.02	2.0
Núcleo cerdo crecimiento	2.5	2.5	2.5	2.5
Composición química (%)				
Materia seca	88	88	88	88
Materia orgánica	12	12	12	12
Proteína cruda	18.03	16.87	15.95	17.84

Extracto etéreo	4.27	4.20	4.20	4.33
FDN	10.52	10.29	10.28	10.72
FDA	6.46	6.39	6.50	6.67

El análisis químico proximal fue determinado en el Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Universitario UAEM Temascaltepec en los anexos, se presentan las metodologías detalladas (AOAC, 1990, fraccionamiento de fibras y almidón Van Soest, *et al.*, 1991).

#### **6.4 Diseño experimental**

El diseño experimental que se utilizó fue un diseño de bloques completamente al azar, donde cada cerdo fue considerado como unidad experimental. Cada tratamiento se asignó al azar a los animales dentro de cada bloque, se agruparon en siete bloques (Steel y Torrie, 1980).

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + \beta_i * T_j + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media general

$B_i$  = Efecto del i-ésimo bloque

$T_j$  = Efecto del j-ésimo tratamiento

$\beta_i * T_j$  = Efecto de la interacción del i-ésimo bloque\*j-ésimo tratamiento

$E_{ij}$  = Error experimental ( $0, \alpha^2$ )



## **VII. RESULTADOS Y DISCUSION**

En la producción de cerdos la inclusión de los cereales en mayor proporción dentro de la dieta resulta en que estos ingredientes aportan del 30 al 60 % de los requerimientos de aminoácidos de los cerdos, sin embargo; los cereales son deficientes en algunos aminoácidos esenciales (histidina isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, triptofano, treonina y valina) para esta especie de interés zootécnico (NRC, 2012) es por eso que se deben incluir fuentes concentradas de proteína como la pasta de soya o harina de canola que aporten tales aminoácidos y de esta forma tener dietas balanceadas que mejoren la eficiencia productiva de los animales durante el periodo de engorda.

### ***Peso vivo inicial a la entrada del experimento***

En la Tabla 1, se muestran los resultados de las variables productivas y económicas. El peso el vivo inicial fue similar para ambos tratamientos, existen estudios que mencionan que cuando se tiene una diferencia de 0.5 kg entre animales al momento de entrar a la engorda, estos podrían llegar al sacrificio una semana antes que aquellos más livianos (Arévalo y Palomo, 2008), en el presente estudio el rango de peso de los animales tuvo una diferencia de peso de 40 g más pesados los que recibieron el T2 (pasta de soya como única fuente de proteína) (T1: 13.88 vs T2:13.84 kg), efecto que pudo haber repercutido en que los animales del T1 ya que fueron 1.06 kg más pesados al sacrificio (T1:111.78 vs T2:110.72).

### ***Consumo de materia seca***

El consumo de materia seca suelo ser uno de los indicadores productivos más importantes que determinan la productividad de los animales. En este sentido, bajo condiciones comerciales, este fenómeno es bastante complejo, ya que es gobernado por el sistema nervioso central y factores ambientales, por ejemplo, en sistemas de alimentación *ad libitum*, generalmente a bajas temperaturas se aumenta y en altas se disminuye, de tal manera que se ha propuesto que son tres los factores que pueden modular el consumo: 1) animal, 2) estado fisiológico y 3) composición química del alimento (Rodríguez-Saldaña, 2014). Si se considera la composición química del alimento (nivel de energía y aminoácidos) generalmente cuando una dieta es baja en proteínas o energía los animales tienden a incrementar su consumo de materia seca, para elevar el consumo de nutrientes digestibles totales. El contenido de proteína de pasta de soya es de 45.13 % y de 35.19

% en harina de canola, por lo que ésta última tiene 28 % menos de compuestos nitrogenados y si se hace referencia al perfil de aminoácidos esenciales la harina de canola sólo supera a la pasta de soya en metionina (NRC, 2014), pero recordemos que cuando existe deficiencia de éste aminoácido se puede producir sintetizar por reacciones de transaminación de sus ceto ácidos análogos o por remetilación de homocisteína. Esto fenómenos biológicos podrían explicar el porqué, durante la etapa de crecimiento y desarrollo el consumo fue mayor para T2: 120 y 80 g/día respectivamente. Cuando se realiza el promedio de todo el ciclo productivo los cerdos en T2 consumieron 30 g/día más. El consumo total de alimento entre tratamientos fue 7.23 kg mayor en el T2 considerando las cuatro etapas analizadas.

### ***Costos de producción y conversión alimenticia***

El costo por kg de alimento del tratamiento donde se incluyó la pasta de soya como ingrediente proteínico fue 7 centavos más caro (T1: \$ 8.08 vs T2: \$ 8.01), que donde la soya se sustituyó parcialmente con la harina de canola. Por otra parte, cuando se calcula el costo de alimentación por cabeza, este fue mayor para T2 (\$ 1,684.91) vs T1 (1,681.97), esto porque los animales que se les agregó pasta de canola en la dieta presentaron mayor consumo de alimento durante todo el periodo de engorda, mismo comportamiento se reflejó en el costo de producción por animal (T1: \$ 2,395.95, T2: \$ 2,399.51).

### ***Ganancia peso y conversión alimenticia***

La ganancia diaria de peso durante las etapas de inicio, desarrollo y finalización fue 50 g más altas para los cerdos que consumieron la pasta de soya en su dieta (T1), este efecto se reflejó en mayor ganancia de peso al final del ciclo productivo para los animales de T1: 0.92 kg al momento del sacrificio. La conversión alimenticia que representa los kilogramos de alimento requeridos para ganar un kilo de peso, fue mejor para el T1 vs T2, ya que se necesitaron 210 g menos de alimento para cambiar positivamente su peso en un kg.

### ***Beneficio neto y relación beneficio-costo***

El beneficio neto por cabeza para el tratamiento 100% soya (T1) fue \$ 30.39 mayor al obtenido en T2, la relación beneficio costo en este tratamiento fue una recuperación 30 centavos por cada peso invertido superior a los 29 centavos que resultaron para el T2. .

Cuadro 1. Análisis económico de la engorda de cerdos recibiendo en su dieta dos fuentes de proteína (harina de soya y pasta de canola).

Concepto	Etapa productiva									
	Inicio		Crecimiento		Desarrollo		Finalización		Total	Total
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Peso vivo inicial (PVI)	13.88	13.84								
Tiempo por etapa (días)	25	25	21	21	22	22	27	27	95	95
Consumo de materia seca (kg/día)	1.21	1.20	2.08	2.20	2.61	2.69	2.86	2.80	2.19	2.22
Consumo de alimento por etapa (kg)	30.25	30.00	43.68	46.20	57.42	59.18	77.22	75.60	206.83	214.06
Costo por kilogramo de alimento (\$)	8.56	8.51	7.90	7.84	7.45	7.37	8.42	8.35	8.08	8.01
Costo de alimentación por cerdo/etapa (\$)	258.94	255.30	345.07	362.20	427.77	436.15	650.19	631.26	1,681.97	1684.91
Compra de animal (\$/cabeza)	-	-	-	-	-	-	-	-	714.60	714.60
Costo de producción (\$/cabeza)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,395.95	2,399.51
Ganancia diaria de peso/etapa (kg/día)	0.84	0.82	1.10	1.18	0.95	0.90	1.31	1.26		
Ganancia de peso por etapa y total (kg/animal) (GPT)	20.25	19.90	22.02	23.69	19.97	19.06	35.56	34.23	97.80*	96.88*
Peso vivo al sacrificio (PVI + GTP*)									111.68	110.72
Conversión alimenticia (kg/animal)	1.43	1.45	1.88	1.86	2.75	2.97	2.16	2.21	1.91	2.12
Precio del kilogramo en pie (\$/kg)	-	-	-	-	-	-	28.00	28.00	-	-
Ingresos por cerdo al sacrificio (\$)	-	-	-	-	-	-	3,127.04	3,100.16	-	-
Beneficio neto por cabeza (\$)	-	-	-	-	-	-	731.09	700.65	-	-
Relación beneficio costo R B/C (\$)	-	-	-	-	-	-	1.30	1.29	-	-

\*GTP= Ganancia total de peso; Tratamientos: T1= 100% soya; T2= 80% soya, 20% canola. Checar valores.

De manera particular, estos resultados son ligeramente superiores a los reportados por Hurtado (2011) con consumos de 1.8 kg de MS por cerdo en la etapa de crecimiento. Por otra parte, los reportes de Estévez (2016) son similares con los de esta investigación al obtener consumos de 2.8 kg de MS para cerdos en la etapa de desarrollo y finalización.

El mayor consumo de MS en T2 para las etapas de crecimiento y desarrollo incrementó ligeramente el costo por cerdo en \$ 3.56 para el ciclo completo en comparación con el costo obtenido en T1, resultados acordes con los reportes de Acosta *et al.* (2006) al concluir que una dieta mixta con núcleo proteico a base de harina de canola y maíz molido aumentan el costo de producción al grado de la inviabilidad económica. En este trabajo la utilidad por cerdo fue \$ 30. menor con la combinación de soya más canola sin presentar riesgos financieros. Este comportamiento puede explicarse por la mayor ganancia de peso y conversión alimenticia obtenida en T1, la cual se reflejó en una mínima diferencia (\$ 0.01) para el beneficio económico por cada peso invertido entre tratamientos. Similares resultados fueron reportados por Benítez-Meza *et al.* (2015) al no encontrar diferencias en costo de producción por cerdo, cuando se compararon dos dietas con diferentes niveles de insumos comerciales.

## **VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El uso combinado pasta de soya y harina de canola mantiene la ganancia total de peso de los cerdos durante todo el ciclo productivo a pesar que los animales tienden a consumir más cantidad de alimento durante la engorda. El uso de pasta de soya como único ingrediente proteico en la dieta resulta en una mayor rentabilidad, lo que se refleja en una mejor relación beneficio/costo. Se recomienda realizar más investigación, donde se evalúe la respuesta productiva aumentando el porcentaje de canola a niveles mayores a los presentados en ésta investigación.

## **IX. LITERATURA CITADA**

- Acosta, E., Ribera, S., Botero, R., Taylor, R., 2006. Evaluación de tres raciones alternativas para la sustitución del concentrado comercial en el engorde de cerdos. *Tierra Tropical*, 2, 97–104.
- Águila R. 2011. Etapas alimenticias del cerdo para abasto. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-porcicultur/nutrición/artículos/los-malos-entendidos-uso-t3446/141-p0.htm>. consultado 18 de marzo de 2018.
- Anaya-Ortega, J.P., Garduño-Castro, G., Espinoza-Ortega, A., Rojo-Rubio, R., and Arriaga-Jordán, C. M., 2009. Silage from maize (*Z. mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41, 607–616.
- Arevalo, M.P. y Palomo Y.A. 2008. Evolución del peso postdestete según el rango de pesos al desdete de lechones ibéricos. *Av. Tecnol. Porc.* Vol (6):6-11.
- Bell, J.M. 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal. A review. *Can. J. Anim. Sci.* 73: 679-697 pp.
- Benítez-Meza, A., Gómez-Gurrola, A., Hernández-Ballesteros, J., Navarrete-Méndez, R., Moreno-Flores, L., 2015. Evaluación de parámetros productivos y económicos en la alimentación de porcinos en engorda. *Abanico Veterinario*, 5, 36–41.
- Bobadilla-Soto, E., Espinoza-Ortega, A., Martínez-Castañeda, F.E., 2013. Competitividad y rentabilidad en granjas porcinas productoras de lechón. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4, 87–92.
- Bosco Juan Luis Gonzaga Laris Rodríguez. (1998). Crianza de porcinos. SHAMIKO. México. 122 pp
- Bourdon, D., Aumaitre A. (1990). Low glucosinolate rapeseeds and rapeseed meals: Effect of technological treatments on chemical composition, digestible energy content and feeding value for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 30 pp
- Brand, T.S., Brandt, D.A., Cruywagen, C.W. (2001). Utilisation of growing-finishing pig diets containing high levels of solvent or expeller oil extracted canola meal. *New Zealand J. Agr. Res.* 44 pp
- Buitrago, Portela, E. 1992. El grano de soya como alternativa alimenticia en cerdos.
- Campabadal, C. 2009. Guía técnica para alimentación de Cerdos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00144.pdf>.
- Campabadal, D.C. 2009. Guía técnica para alimentación de cerdos. Pág. 38-46 imprenta nacional.
- Chicarelli, D. (2002). Uso de sorgo en la alimentación porcina. Disponible en: <http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Materiales/Produccion/Aspectos%20Nutricionales/Alimentacion%20de%20cerdos%20con%20sorgo%20granifero>. Consultado el 13 de marzo de 2018. 6 pp
- Cortés-Tinoco, G.F., Mora-Flores, J.S., García-Mata, R., Ramírez-Valverde, G. (2011). Estudio del consumo de la carne de cerdo en la zona metropolitana del Valle de México. 351: 339-340

- DeRouchey, J. (2014). Sistema digestivo del cerdo: anatomía y funciones. Disponible en: <http://www.elsitioporcino.com/articles/2513/sistema-digestivo-del-cerdo-anatoma-y-funciones/>. Consultado 15 de marzo de 2018
- EDIFARM. 2005. Alimentación básica del cerdo. Disponible en: [https://quickvet.edifarm.com.ec//pdfs/articulos\\_tecnicos/ALIMENTACION%20BASICA%20CERDO.pdf](https://quickvet.edifarm.com.ec//pdfs/articulos_tecnicos/ALIMENTACION%20BASICA%20CERDO.pdf) consultado el 25 de marzo de 2018.
- Escobar, C.J.H., Macías, M.M.D., Miguel, V.R.C., 2006. Evaluación del uso de melaza en dietas para cerdos en crecimiento y engorde. *Ceiba*, 47, 3–9.
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, F.E., Arriaga-Jordán, C.M., 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of Central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*, 43, 241-256.
- Estevés, A.J.A., 2016. Nutritional Management in the Prefattening and Fattening Stages on an Integrated Swine Farm. *Rev. Prod. Anim*, 28, 12–19.
- FIRA. (2017). Carne de cerdo 2017. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. 27 pp.
- García-Contreras, A.C., De Loera-Ortega, Y.G., Yague, A.P., Guevara-González, J.A., García-Arteaga, C., 2012. Alimentación práctica del cerdo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 6, 21–50.
- Hernández, M.J., Rebollar, R.S., Rojo, R.R., García, S.J.A., Guzmán, S.E., Martínez, T.J.J., Díaz, C.M.A., 2008. Rentabilidad privada de las granjas porcinas en el sur del Estado de México. *Universidad y Ciencia*, 24, 117–124.
- Hernandez-Martinez, J., Avilés-Nova, F., Rojo-Rubio., R. (2014). Metodologías y aplicaciones para la producción ganadera del trópico seco en el sur del Estado de México. *Gernika México*. 303 pp
- Hurtado, N. V., Rita Nobre, S., Chiquieri, J., 2011. Rendimiento de cerdos alimentados con raciones conteniendo subproductos de arroz, durante la fase de crecimiento. *Revista MVZ Córdoba*, 16, 2372–2380.
- Kracht, W., Jeroch, H., Matzke, W., Nürnberg, K., Ender, K., Schumann. W. (1996). The influence of feeding rapeseed on growth and carcass quality of pigs. *Lipid/Fett*. 98 pp
- Lesur L. (2003). Una guía paso a paso: Manual de porcicultura. Trillas. México. 80 pp
- López, N. (2012). Uso y calidad de materias primas en la alimentación de cerdos. *Asociación Venezolana de producción anima*. 6 pp
- Martínez-Aispuro, J.A., Figueroa-Velazco, J.L., Cordero-Mora, J.L., Sánchez Torres-Esqueda, M.T., Martínez-Aispuro, M., 2016. Dietas para cerdos en iniciación incluyendo salvado de trigo y adicionadas con xilanasas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4, 73.
- Méndez, L.J.M., Rodríguez, O.L., Mandujano, C.J.C., Reyes, D.C.C., Banda, I.H., 2016. Yuca: alimento alternativo para cerdos a base de yuca: determinando su rentabilidad y viabilidad económica. *Revista Global de Negocios*, 4, 53–61.
- Newkirk, R. (2009). *Canola meal feed industry guide*. 4 ED. Canadá. CIGI. 48 pp
- Newkirk, R. (2015). *Canola meal feeding guide*. 5ED. Canada. CIGI. 60 pp.
- Nutrient Requirements of Swine. 2012. National Academic Press. 500 Fifth Street, NW, Keck 360, Washington, DC. 401 p.

- Nyachoti, C.M., Zijlstra, R.T. de Lange C.F. Patience, J.F. (2004). Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Can. J. Anim. Sci.* 84 pp
- Ocádiz-García, J. (2002). Diagnóstico y tratamiento de enfermedades en animales domesticos. Trillas. México. 133 pp
- Patience, J.F. (2014). La energía de la dieta en el ganado porcino. Disponible en: <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/10231/articulos-nutricion-archivo/la-energia-de-la-dieta-en-el-ganado-porcino.html>. Consultado 12 de marzo de 2018.
- Pinheiro-Machado, L. C. (1987). Los cerdos. Hemisferio sur. Buenos Aires. 773 pp
- Posada, S.L., Mejía, J.A., Noguera, R., Cuan, M.M., Murillo, L.M., 2006. Evaluación productiva y análisis microeconómico del maní forrajero perenne (*Arachis pintoi*) en un sistema de levante-ceba de porcinos en confinamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19, 259–269.
- Posadas-Domínguez, R.R., Del Razo-Rodríguez, O.E., Almaraz-Buendía, I., Pelaez-Acero, A., Espinosa-Muñoz, V., Rebollar-Rebollar, S., y Salinas-Martínez, J.A., 2018. Evaluation of comparative advantages in the profitability and competitiveness of the small-scale dairy system of Tulancingo Valley, Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 50, 947–956.
- Rodríguez-Saldaña, D. 2014. Importancia del consumo de alimento sobre la productividad. In: III Seminario Internacional de Productividad Porcina. 20 – 21 noviembre del 2014. Santo Domingo, Ecuador.
- Rojo-Gómez, A., Pérez-Mendoza, V.G., Bayardo-Uribe, A., Correa-Cardona, H. J y Cuarón-Ibargüengoytia, J. A. (2001). Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Técnica Pecuaria en México*, vol. 39. 15 pp
- Sánchez-Torres, J.E. (2012). Digestibilidad de nutrientes en dietas sorgo pasta de soya adicionadas con fitasa o formuladas con base en pasta de canola en cerdos en crecimiento. Tesis Doctoral. Instituto de investigaciones en ciencias veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California. 60 pp
- SAS., Institute. 1991. SAS User's Guide: Statistics. Ver.5. SAS Institute. Cary, N.C. USA. 956 p.
- SEP. (1982). Manual para producción agropecuaria: Porcinos. Trillas. México. 184 pp
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. (1980). Principles and Procedures of Statistics, 2nd ed. McGraw-Hill International, New York, NY, USA.
- Toriz, V.M. (2013). Alcalorpolitico. Disponible en: <https://www.alcalorpolitico.com/informacion/mexico-importa-anualmente-516-mil-toneladas-de-carne-de-cerdo-6-veces-mas-de-lo-que-exporta-125195.html>. Consultado 10 de marzo de 2018
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Vieites. M. Carlos (2011). Producción porcina: Fundamentos y enfoque sustentable para su desarrollo. Hemisferio sur. Buenos Aires. 912 pp



- Vitaliano Garzón Albarracín, M.V. 2010. La soya, principal fuente de proteína en la alimentación de especies menores. Disponible en: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/soya-principal-fuente-proteina-t28541.htm#:~:text=Actualmente%20la%20soya%20esta%20considerada,comparada%20con%20otras%20fuentes%20proteicas>. Consultado el 03 de abril de 2018.
- Wiggins S., Tzintzun R., Ramírez G., Ramírez V., Ortiz O., Piña C., Aguilar B., Espinoza-Ortega A., Pedraza F., Rivera H., Arriaga-Jordán C. M., 2001. Costos y retornos de la producción de leche en pequeña escala, en la zona central de México. La lechería como empresa. Cuadernos de Investigación. Cuarta época-19. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- El Ácido erúico, un contaminante presente en aceites y grasas vegetales. <https://acsa.gencat.cat/es/actualitat/butlletins/acsa-brief/acid-erucic-un-contaminant-present-en-olis-i-greixos-vegetals/>. Consultado el 19 de octubre del 2022.

## x. ANEXOS

### Humedad y materia seca

Material y equipo:

- a) Estufa de aire forzado calibrada en un rango de temperatura de 55 a 110 °C.
- b) Desecador provisto de gel de sílice con indicador de humedad.
- c) Bolsas de papel
- d) Crisoles de porcelana de 3-4cm de diámetro y de 2.3 cm de altura o cápsula de aluminio.

Principio:

La humedad de una muestra se pierde por su volatilización a causa de calor aplicado. El porcentaje es calculado por diferencia en el peso.

Procedimiento:

Si la muestra es fresca, se debe obtener un peso de ella, o de una porción significativa; inmediatamente después se debe poner a secar en una estufa de aire forzado por varios días a una temperatura de 55 °C. Después de este tratamiento, se pesa de nuevo la muestra, y por diferencia se calcula como un porcentaje de humedad a 55°C. 100 menos este valor es el porcentaje de esta materia seca (MS) a 55°C. Esta muestra puede entonces molerse en un molino Willey o algún otro, con el fin de obtener una muestra más homogénea para determinaciones posteriores.

Una vez que la muestra llega a su estado seco, se puede guardar en frascos de vidrio plenamente identificados y almacenados a temperatura ambiente, si su análisis se va a realizar pronto o bien en un cuarto con aire acondicionado para análisis posteriores, con el fin de evitar cambios en su composición real.

Par determinar humedad a 110°C, se colocan charolas de aluminio o en crisoles de porcelana en una estufa a 110°C por lo menos durante una hora. Se sacan y se colocan en un desecador hasta que se enfríen a temperatura ambiente (3-5 minutos). Las charolas o crisoles deben pesarse en una balanza analítica, usando pinzas de metal para manejarlas. Se pesan 2 gramos de cada muestra y se colocan en la estufa a 110°C de 18 a 24 h; una vez transcurrido este tiempo, deben enfriarse en un desecador, repitiéndose el procedimiento anterior. Cada muestra se analiza por triplicado o duplicado.

Cálculos:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Pérdida de peso (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

$$\text{Materia seca (\%)} = 100 - \text{Humedad (\%)}$$

El residuo de este análisis puede ser guardado en un desecador para ser usado en la determinación de extracto etéreo o cenizas. Todas las subsecuentes determinaciones del análisis proximal serán hechas y expresadas en por ciento de la muestra en base seca.

## Cenizas

Material y equipo:

- a) Balanza analítica.
- b) Desecador provisto de gel de sílice con indicador de humedad.
- c) Mufla de incineración para alcanzar temperaturas de 550-600 °C.
- d) Crisoles de porcelana de 3-4 cm de diámetro y de 2.3 cm de altura o cápsula de aluminio.

Procedimiento:

- a) Pesar 1 o 2 g ( $\pm 0.01$ g) de muestra seca en crisol previamente pesado (peso del crisol totalmente seco, o bien que tenga peso constante).
- b) Introducir a la mufla y calentar a 550-600°C (el incremento de la temperatura se recomienda sea a intervalos de 15 minutos de 100 °C).
- c) Una vez que se alcancen los 550-600°C, dejar la muestra que se calcine por un periodo de seis horas.
- d) Enfriar la mufla hasta 100°C.
- e) Sacar los crisoles y colocarlos en el desecador durante 5 minutos.
- f) Registrar el peso de los crisoles y las cenizas (peso final).
- g) Calcular el % de cenizas.

Cálculos:

$$\text{Cenizas (\%)} = \left[ \frac{\text{Peso final (g)} - \text{Peso del crisol (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \right] \times 100$$

## Determinación de los compuestos nitrogenados

En la química húmeda existen dos métodos para determinar el contenido de nitrógeno de los alimentos, la diferencia entre ellos radica en la cantidad de muestra y reactivos utilizados, en el presente apartado de plasma el Método del Macro-Kjeldahl y Micro-Kjeldahl

### Determinación por Macro-Kjeldahl

#### Equipo

- 1) Aparato de digestión (bloque digestor) y destilación Macro-Kjeldahl y sus accesorios.
- 2) Matraces Erlen Meyer de 500 ml.
- 3) Bureta de 50 ml.

#### Reactivos

- 1) Acido sulfúrico concentrado, grado reactivo.
- 2) Solución de hidróxido de sodio al 40% (0.800 g de NaOH/2 L de agua destilada).
- 3) Solución valorada de ácido clorhídrico al 0.1 N (8.3 ml de ácido clorhídrico concentrado/L de agua destilada). Comprobar por titulación.
- 4) Solución de ácido bórico al 4% (40 gL<sup>-1</sup> de agua destilada)
- 5) Solución indicadora (20 mg de rojo de metilo + 100 mg de verde de bromocresol y aforar a 100 ml con alcohol etílico al 96% comercial).
- 6) Solución boratada indicadora (a un litro de solución boratada al 4% agregar 7 ml de solución indicadora).
- 7) Mezcla catalizadora (96 g de sulfato de sodio, 3.5 g de sulfato de cobre y 0.5 g de selenio negro).
- 8) Granallas de zinc.

#### Principio

El método de Kjeldahl para la determinación de proteína- nitrógeno consiste en la conversión de proteína-nitrógeno a sulfato ácido de amonio durante la digestión de la materia orgánica con ácido sulfúrico y calor, en la presencia de un catalizador. Una vez que la materia orgánica se ha desintegrado completamente, la solución se neutraliza con hidróxido de sodio, liberándose amoníaco el cual es destilado por arrastre con vapor dentro de una solución de ácido bórico, para formar un complejo boro-amoniaco (tetraborato de amonio). La cuantificación del nitrógeno se logra cuando una solución de ácido previamente valorado (ácido clorhídrico al 0.1 N) se añade a la solución formando por cada equivalente de boro-amoniaco, un equivalente del sulfato-amoniaco (sulfato de amonio). Aquí, 1 ml del ácido estandarizado neutraliza 0.014 g de nitrógeno en forma de ión amonio.

La exactitud de la determinación de proteína-nitrógeno radica en el peso de la muestra original, el volumen y la concentración del ácido estándar usado. Todas las otras concentraciones, adiciones o manipuleos pueden ser aproximado a los descritos en el procedimiento, pero no tienen que ser exactos.

#### Digestión

Pesar exactamente una cantidad entre 1 y 2 g de la muestra dependiendo del contenido de nitrógeno estimado, en un papel que se dobla cuidadosamente; identificar la muestra usando lápiz.

El uso del papel para envolver la muestra es con el fin de evitar que la muestra quede pegada en el cuello del matraz Kjeldahl al depositarla. Como blancos, usar un pedazo del mismo papel y todos los reactivos. Agregar entre 5-10 g de la mezcla catalizadora y añadir 25 ml de ácido sulfúrico concentrado. Colocar el matraz en las parrillas del digestor y encenderlas, cuidando de poner a funcionar el extractor de gases. La digestión tarda 50 minutos o hasta que la solución se torna transparente o de un color verde pálido. Cuidar de que toda la materia orgánica sea desintegrada (oxidada), por lo que es conveniente rotar los frascos durante la digestión.

Una vez terminada la digestión se apagan las parrillas y dejar los matraces en posición con el extractor encendido hasta que se enfrien. Precaución: El humo blanco y denso que se observa está formado de trióxido de azufre, el cual es irritante. Cuando los frascos se han enfriado lo suficiente, se añaden 200 ml de agua destilada y se agita el matraz hasta que cualquier material cristalino se disuelva, en caso de formarse. El análisis puede suspenderse en este punto en caso de que sea necesario, pero hay que tener la precaución de taparlos debidamente.

#### Destilación

Depositar en un matraz Erlen Meyer de 500 ml, 100 ml de la solución boratada indicadora y colocarlo debajo del refrigerante del destilador, teniendo cuidado de que el tubo de hule del refrigerante quede sumergido en la solución. Se adicionan unas cuantas granallas de zinc (8-10), e inmediatamente después, agregar muy lentamente por las paredes del matraz en posición inclinada, 100 ml de la solución de hidróxido de sodio al 40%, de tal manera que se formen dos capas y se debe colocar rápidamente el matraz en las parrillas de destilación y conectarlo al condensador perfectamente. Encender las parrillas y destilar hasta que un mínimo de 300 ml hayan sido recolectados en el matraz Erlen Meyer. Retirar el matraz con el destilado y luego apagar las parrillas (de lo contrario la muestra será sifoneada al matraz de Kjeldahl).

#### Titulación

Se titula la solución destilada con la solución valorada de ácido clorhídrico al 0.1 N (aproximadamente), anotando la cantidad (ml) del ácido al 0.1 N que se requieran para que el destilado cambie de un color verde a un rosado claro.

Para calcular la cantidad de nitrógeno en la muestra se utilizan los siguientes datos y fórmulas:

- 1) Un ml de HCL al 0.1 N= ml de ácido gastados en la muestra corregidos = ml de ácidos gastados en el blanco.
- 2) Normalidad del ácido clorhidrico : 0.1 ( otros tres dígitos).
- 3) Peso de la muestra.
- 4) El factor de ajuste para nitrógeno que será 0.014 miliequivalentes multiplicado por 100 para sacar el porcentaje.

Así pues, la fórmula quedaría:

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

y la proteína calculada sería = % N x 6.25

#### BIBLIOGRAFIA

A.O.A.C. 1975. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 12th Edition. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C.

## Proteína cruda por el método micro-Kjeldahl

### Material y Equipo:

- a) Campana de extracción de gases.
- b) Aparato de digestión micro-Kjeldahl.
- c) Tubos de ensayo 100 ml.
- d) Matraz de Kjeldahl 500 ml.
- e) Destilador macro Kjeldahl.
- f) Matraces Erlenmeyer de 50ml.
- g) Bureta de 50ml.
- h) Pipetas de 5 y 20 ml.

### Reactivos:

- a) Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado.
- b) Solución de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) al 40% ( $400 \text{ g L}^{-1}$  de agua destilada).
- c) Solución de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) al 4% ( $40 \text{ g L}^{-1}$  de agua destilada).
- d) Solución indicadora de rojo de metilo y verde de bromocresol (70 mg de rojo de metilo en 70 ml de alcohol etílico, 100 mg de verde de bromocresol el 100 ml de alcohol etílico y mezclar ambas soluciones).
- e) Mezcla catalizadora [96g de sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), 3.5g de sulfato cúprico ( $\text{CuSO}_4$ ) y 0.5g de selenio].
- f) Solución valorada de HCL cercana al 0.1 N ( $8.3 \text{ ml L}^{-1}$  de agua destilada). Comprobar por titulación

### Principio:

El nitrógeno de las proteínas y de otros compuestos se transforma a sulfato de amonio por medio de la digestión con ácido sulfúrico en ebullición, el residuo se enfría, se diluye con agua y se le agrega hidróxido de sodio. El amonio presente se desprende y a la vez se destila y se recibe en una solución de ácido bórico que luego es titulado con una solución de ácido estandarizado en presencia de un indicador apropiado. La exactitud de la determinación de proteína-nitrógeno radica en el peso de la muestra original, el volumen y la concentración del ácido estándar usado. Todas las otras concentraciones, adiciones o manipuleos pueden ser aproximados.

### Procedimiento:

Todo el material tiene que ser lavado y enjuagado con agua destilada antes de su utilización

### *Digestión*



- a) Pesar de 0.3 a 0.5 g de muestra y depositarlas en un tubo de vidrio.
- b) Identificar el tubo con un marcador o etiquetas y adicionar 6 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y 1 g de mezcla catalizadora (dejar reposar durante 12 h).
- c) Colocar los tubos en el digestor e incrementar la temperatura gradualmente hasta alcanzar  $350^\circ\text{C}$ , digerir toda la materia orgánica (esto proceso puede variar desde 4 hasta 6 horas) mantenga encendidas las campanas de extracción. Mantenga en observación el proceso de digestión hasta que cese la formación de espuma. Si la espuma en una muestra determinada empieza a subir por el cuello del tubo retírelo del digestor para que la espuma desaparezca y luego vuelva a colocarlo. Continúe la digestión hasta que la solución se torne a un color verde pálido (dejar enfriar y mantener la campana de extracción encendida para permitir el escape de todos los gases).

#### *Destilación*

- a) Disolver el contenido del tubo en la mínima cantidad de agua destilada (40ml)
- b) Transferir al matraz de Kjeldahl el contenido del tubo, lavando este con la misma cantidad de agua destilada y agregar 3 perlas de vidrio a cada matraz.
- c) En el extremo del condensador, colocar un matraz Erlenmeyer de 50 ml con 15ml de solución de ácido bórico al 4% y 3 gotas de indicador verde bromocresol-rojo de metilo (el indicador puede agregarse previamente en la solución ácido bórico al 4 %, agregando 17 ml de indicador  $\text{L}^{-1}$  de solución de ácido bórico), cuidando que el extremo del condensador quede sumergido dentro de la solución.
- d) Adicionar 15ml de NaOH al matraz de Kjeldahl, manteniéndolo inclinado para que solución deslice por el costado hasta el fondo (de esta manera se evitara el inicio de la reacción y el escape del nitrógeno) del tal manera que forme dos capas, colocarlo en las parrillas de destilación en el nivel 6 y destilar hasta obtener 50ml del destilado, enjuagar el extremo del condensador con la mínima cantidad de agua y retirar el matraz Erlenmeyer.

#### *Titulación*

- a) Titular el destilado con la solución valorada de ácido al 0.1N hasta obtener un color rosa tenue, y debe registrarse la cantidad de ml gastados en la titulación.
- b) Hacer un blanco siguiendo todo el procedimiento.

Cálculos:

$$N (\%) = \frac{(ml \text{ gastados de HCl} - ml \text{ gastados en el blanco}) \times Normalidad \text{ HCl} \times 1.401}{(g \text{ de la muestra})(coeficiente de MS)}$$

$$Proteína \text{ calculada} = Nitrógeno \times 6.25$$

## **Fibra Detergente Neutro (FDN) en Alimentos, técnica de la bolsa de filtro (ANKOM200)**

### Material y equipo:

- a) Balanza analítica con sensibilidad de peso de hasta 0.1mg.
- b) Estufa de aire forzado con para temperatura de secado de  $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- c) Digestor de fibra para realizar digestión a  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  y a una presión de 10-25 psi. El instrumento debe tener la particularidad de crear un flujo de presión de detergente neutro homogéneo alrededor de cada una de las muestras para garantizar la uniformidad de la extracción. Se recomienda el instrumento (ANKOM<sup>200</sup>, agitación a 65 rpm, Tecnología ANKOM, puede variar el modelo, Figura 1).
- d) Bolsas filtro: construidas de químicos inertes y resistentes al calor, capaz de ser cerrada y sellada al calor y con habilidad de retener partículas de 25 micrones permitiendo al mismo tiempo la rápida penetración de la solución (F57, Tecnología ANKOM). Figura 2.
- e) Sellador a calor: suficiente para sellar y cerrar las bolsas filtro para garantizar el cierre completo (1915, Tecnología ANKOM). Figura 3.
- f) Desecador bolsa: bolsa de cierre plegable con desecante interior que permite la eliminación de aire alrededor de las bolsas filtro (Bolsa para detener la humedad, Tecnología ANKOM).
- g) Marcador: resistente a los ácidos y solventes (F08, Tecnología ANKOM).

### Reactivos:

- a) Solución Detergente Neutro (30.0 g de lauril sulfato de sodio, 18.61 g EDTA sal disódica di-hidratado, 6.81 g de tetraborato de sodio deca-hidratado, 4.56 g fosfato de sodio dibásico Anhidro, 10 ml de trietilenglicol, en 1L de H<sub>2</sub>O destilada). Checar el rango de pH de 6.9 a 7.1.
- b) Alfa-amilasa: alfa-amilasa bacteriana termo estable: actividad=17,400 unidades/ml (FAA, Tecnología ANKOM). Cuando las muestras contengan granos o cereales.
- c) Sulfito de sodio: Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, anhidro (FSS, Tecnología ANKOM).

### Principio:

El principio de la técnica se basa en la solubilidad de los compuestos que integran la pared celular de la célula vegetal; es un método rápido para la determinación de las fracciones de fibra totales contenida en los alimentos vegetales consumidos por los animales. Aparentemente divide

la materia seca al punto de que separa los constituyentes nutricionales solubles y accesibles, de aquellos que no son totalmente aprovechables, o que dependen de la fermentación microbiológica para su aprovechamiento. Este método determina la fibra detergente neutro, que es el residuo que queda después de digerir el sustrato en una solución detergente. Los residuos son predominantemente hemicelulosa, celulosa y lignina. Este método es aplicable para granos, alimentos forrajes y todos los materiales fibrosos.

**Procedimiento:**

Las bolsas tienen una cantidad de humedad insignificante por lo que no necesitan secarse, pero deben manipularse con pinzas. Usar un marcador resistente a solventes o un lápiz para etiquetar las bolsas filtro.

- a) Pesar la bolsa ANKOM registrando el peso y tarando a cero ( $W_1$ ).
- b) Pesar  $0.45g \pm 0.01g$  ( $W_2$ ) directamente en la bolsa filtro, registrar el peso exacto y sellar el extremo de la bolsa con el sellador ANKOM (1915, Tecnología ANKOM).
- c) Pesar una o dos bolsas para utilizarlas como blanco.
- d) Colocar las bolsas dentro del instrumento de digestión (ANKOM<sup>200</sup>, agitación a 65 rpm, Tecnología ANKOM), Agregar 1900 mL o 2000 ml de solución detergente neutro a temperatura ambiente ( $40 \text{ ml bolsa}^{-1}$ ), si se trata de algún grano es indispensable agregar una enzima amilolítica (Takatherm o Diazime) a razón de 5 mL por bachada directamente a digestor Ankom, esto para no tener efectos confundidos sobre el almidón presente en la muestra .
- e) Calentar ( $90-102^\circ\text{C}$ ) y agitar (65 rpm) durante 75 minutos.
- f) Posterior a este periodo, lavar con agua caliente hasta eliminar espuma proveniente del detergente neutro. Repetir el procedimiento tres ocasiones.
- g) Colocar las bolsas en toallas de papel absorbente y quitar suavemente el exceso de agua.
- h) Pasar las bolsas a un vaso de precipitado de 250 ml, agregar 200 ml de acetona y remojar de 3 a 5 min.
- i) Colocar nuevamente las bolsas en toallas de papel absorbente para eliminar el exceso de acetona.
- j) Dispersar las bolsas y dejar secar al aire libre durante 10 minutos.
- k) Secar a peso constante en estufa de aire forzado a  $105^\circ\text{C}$  (al menos 12 h).
- l) Cumplido el tiempo de secado, sacar las bolsas de la estufa y colocarlas en un desecador durante unos minutos, pesar las bolsas y registrar el peso ( $W_3$ ).

**Cálculos:**

$$FDN (\%) = \frac{(W_3 - (W_1 \times C_1))}{W_2} \times 100$$

*Donde:*

W<sub>1</sub>=Peso de la bolsa (g)

W<sub>2</sub>=Peso de la muestra (g)

W<sub>3</sub>=Peso de la después del proceso extracción (g)

C<sub>1</sub>=Factor de corrección (bolsa blanco, peso después de la extracción dividido entre el peso original)

## **Fibra Detergente Ácido (FDA) en Alimentos, técnica de la bolsa de filtro (ANKOM200)**

### Material y equipo:

- a) Balanza analítica capaz de hasta 0.1mg.
- b) Estufa: capaz de mantener una temperatura de  $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- c) Instrumento de digestión: capaz de ejecutar la digestión a  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  y mantener una presión de 10-25 psi. El instrumento debe ser también capaz de crear un flujo similar alrededor de cada una de las muestras para garantizar la uniformidad de la extracción (ANKOM<sup>200</sup>, agitación a 65 rpm, Tecnología ANKOM).
- d) Bolsa filtro: construidas de químicos inertes y resistentes al calor, capaz de ser cerrada y sellada al calor y con habilidad de retener partículas de 25 micrones permitiendo al mismo tiempo la rápida penetración de la solución (F57, Tecnología ANKOM).
- e) Sellador a calor: suficiente para sellar y cerrar las bolsas filtro para garantizar el cierre completo (1915, Tecnología ANKOM).
- f) Desecador bolsa: bolsa de cierre plegable con desecante interior que permite la eliminación de aire alrededor de las bolsas filtro (Bolsa para detener la humedad, Tecnología ANKOM).
- g) Marcador: resistente a los ácidos y solventes (F08, Tecnología ANKOM), las bolsas también pueden ser marcadas con lápiz.

### Reactivos

- a) Solución detergente ácido [27 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 20 g Bromuro de cetil trimetil amonio (CTBA) en 1L de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada].
- b) Acetona.

### Principio:

Este procedimiento permite una rápida determinación de lignina-celulosa en los alimentos. Sin embargo, en esta fracción también aparece la sílice. La diferencia entre el valor de las paredes celulares y la fibra detergente ácido, da una estimación de la hemicelulosa, ya que esta diferencia también incluye una fracción de proteína adherida a las paredes celulares.

### Procedimiento:

Una vez pesadas las bolsas utilizadas para la determinación de FDN, pueden utilizarse para la determinación de la FDA.

- a) Colocar las bolsas dentro del instrumento de digestión (ANKOM<sup>200</sup>, agitación a 65 rpm, Tecnología ANKOM), Agregar 1900 ml o 2000 ml de solución detergente ácido a temperatura ambiente (40 ml bolsa<sup>-1</sup>).
- b) Agitar y calentar a 90-102°C por 75 minutos.
- c) Cuando el tiempo halla pasado deben realizarse lavados con agua caliente, en el segundo lavado adicionar 4 ml de amilasa (en caso de granos) y agitar por 5 min para eliminar el almidón. Repetir el lavado.
- d) Colocar las bolsas en toallas de papel absorbente y quitar suavemente el exceso de agua.
- e) Pasar las bolsas a un vaso de precipitado de 250ml, agregar 200 ml de acetona y remojar de 3 a 5 min.
- f) Colocar nuevamente las bolsas en toallas de papel absorbente para eliminar el exceso de acetona.
- g) Dispersar las bolsas y dejar secar al aire libre.
- h) Completar el secado en estufa de 105 °C durante 12 h.
- i) Cumplido el tiempo de secado, sacar las bolsas de la estufa y colocarlas en un desecador durante unos minutos, pesar las bolsas y registrar el peso (W<sub>3</sub>).

Cálculos:

$$FDA (\%) = \frac{(W_3 - (W_1 \times C_1))}{W_2} \times 100$$

*Donde:*

W<sub>1</sub>=Peso de la bolsa (g)

W<sub>2</sub>=Peso de la muestra (g)

W<sub>3</sub>=Peso de la después del proceso extracción (g)

C<sub>1</sub>=Factor de corrección (bolsa blanco, peso después de la extracción dividido entre el peso original)

## **Extracto etéreo (Grasa)**

### Equipo:

- a) Equipo de extracción Soxhlet.
- b) Papel de filtro Whatman # 541.
- c) Equipo de destilación.
- d) Balones de extracción.
- e) Estufa de aire forzado calibrada en un rango de temperatura de 55 a 110 °C.
- f) Hornilla.

### Reactivos:

- a) Éter etílico o éter de petróleo

### Principio:

Una cantidad previamente homogeneizada y seca, medida o pesada del alimento se somete a una extracción con éter de petróleo o éter etílico, libre de peróxidos o mezcla de ambos. Posteriormente, se realiza la extracción total de la materia grasa libre por Soxhlet.

### Procedimiento:

- a) Pesar 2 g de muestra sobre papel filtro (sólo para harinas y subproducto cama pesar solo 1 g).
- b) Hacer con el papel de filtro un paquete de tal forma que la muestra quede segura. Coloque el paquete en la cámara de extracción.
- c) Pese el balón vacío, en el cual posteriormente se depositará la grasa, anote el peso. Fije el balón a la parte inferior del Soxhlet en forma segura, con la finalidad de evitar la fuga del éter de etílico.
- d) Por la parte superior del Soxhlet vierta el éter etílico hasta que por diferencia de presión baje a través del cuello del Soxhlet al balón, luego añada éter etílico hasta cubrir el paquete. Fije bien el Soxhlet a la parte inferior del refrigerante.
- e) Empezar la extracción durante 4 horas, evitando todo tipo de fuego tal como mechero, cigarrillo encendido, etc., por esta razón se utiliza hornilla debido a que el éter etílico es altamente inflamable. Controle que el flujo de agua en el refrigerante no se interrumpa, si esto ocurriese, detener la extracción hasta que se regule el flujo adecuado del agua.



- f) Después de las 4 horas de extracción recuperar el solvente a medida que se condense en la cámara de extracción. El paquete de la muestra se guarda para su posterior análisis de fibra. Evite que la grasa depositada en el balón se quemé, deje enfriar el balón conteniendo la grasa para luego colocarlo en la estufa durante una hora, con la finalidad de que el éter etílico se evapore completamente y sólo se quede la grasa como remanente.
- g) Después de estar una hora en la estufa, deje enfriar a temperatura ambiente. Pese el balón conteniendo la grasa y registre el peso. (peso final)

Cálculos:

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{\text{Pesofinal (g)} - \text{Peso del balón (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$