



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**EFFECTO DE LA GLICERINA SEMIPURIFICADA
PROCEDENTE DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN
DEL BIODIESEL SOBRE EL RENDIMIENTO DE
CERDAS DURANTE LA GESTACIÓN**

**TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**PRESENTA:
ALFREDO SEBASTIÁN CORTÉS GONZÁLEZ**

**ASESORES:
DR. MANUEL SÁNCHEZ CANTÚ
DRA. SANDRA DE LA TORRE ITURBE**

FECHA: JUNIO 2023



AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, agradezco a mi hija, mi pequeña princesa, por ser mi motivación, apoyo y razón de vivir. Gracias por ayudarme a salir adelante y mejorar como persona para ti. Esta tesis es para ti, un logro más que alcanzamos juntos, vamos a lograrlo.

Le agradezco a mi padre y a mi madre, así como a mi hermano, por acompañarme en cada momento de mi vida, apoyándome a cada paso que doy sin importar que sean pasos pequeños. Gracias por todo, espero poder pagarles algún día.

Gracias, mi personaje favorito de cuento de hadas, por estar a mi lado en las largas noches sin dormir, tener siempre lista una taza de café y una palabra de aliento para mí, gracias por ser mi equipo.

A mi familia y seres queridos, que han formado parte de mi vida y me han visto crecer. Gracias, a aquellos que tuvieron que partir antes, pero que dejaron una marca en mi vida, siempre están acompañándome, desde donde quiera que estén. Gracias, en especial a mi abuela, por formar a la persona que soy ahora. Algún día estarás orgullosa de mí.

Al Dr. Manuel Sánchez Cantú, quien con paciencia y dedicación ha dejado una marca en mi etapa universitaria, mostrándome de lo que puedo ser capaz como ingeniero si le dedico esfuerzo y dedicación, así como por enseñarme que siempre se pueden hacer mejor las cosas. Cada corrección, cuestionamiento e incluso regaño que llegue a recibir de usted, me ha ayudado a desarrollarme profesionalmente y prepararme para la vida laboral.

A la Doctora Sandra de la Torre Iturbe, quien me acompañó en este proceso, mostrándome que siempre se puede aprender más, compartiendo sus conocimientos cada día, dedicando su tiempo en apoyarme para lograr realizar este proyecto y por darme la confianza para continuar en cada etapa de este proceso.

A mis sinodales, la Doctora Juana Deisy Santamaría Juárez y la Doctora Esmeralda Vidal Robles, por su tiempo, observaciones, disposición y perspectiva, los cuales permitieron mejorar este proyecto.

Para mis compañeros de laboratorio, quienes me recibieron cuando comencé esta etapa, me apoyaron para realizar el proceso e hicieron mis días más amenos y divertidos.

Gracias a mis amigos, quienes me han acompañado en lo académico y lo personal. Les agradezco por escuchar cada historia que he contado, cada y siempre contemplarme en los planes, incluso cuando sabían que no podrían acompañarlos. Ya tendremos tiempo para celebrar.

Finalmente, le agradezco a la facultad por las enseñanzas y las herramientas proporcionadas para desarrollarme profesionalmente.



ÍNDICE TEMÁTICO

RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I ANTECEDENTES	11
1.1 BIOCOMBUSTIBLES	12
1.1.1 Definición	12
1.1.2. Situación actual de los Biocombustibles	13
1.2 BIODIESEL	15
1.2.1 Definición	16
1.2.2 Materias primas	16
1.2.2.1 Aceites	16
1.2.2.2 Alcoholes	17
1.2.2.3 Catalizadores	17
1.2.3 Situación actual del biodiesel	19
1.2.4 Proceso de producción y subproductos	19
1.3 GLICERINA CRUDA	20
1.3.1 Definición	20
1.3.2 Clasificación	21
1.3.2.1 Glicerina refinada	22
1.3.2.2 Glicerina de grado técnico	22
1.3.2.3 Glicerina Cruda	23
1.3.3 Aplicaciones de la glicerina	25
1.3.4 Glicerina Cruda como subproducto	25
1.3.5 Aplicaciones de la glicerina Cruda en la alimentación animal	26
1.3.6 Aplicaciones de la glicerina Cruda en la alimentación porcina	27
1.4 REQUERIMIENTOS EN LA ALIMENTACIÓN PORCINA	30
1.5 Bibliografía	32
CAPÍTULO II METODOLOGÍA	36
2.1 PRODUCCIÓN DE GLICERINA SEMIPURIFICADA	37
2.1.1 Materiales	37
2.1.2 Equipo	38



2.1.3 Producción	40
2.1.3.1 Proceso de acidificación	40
2.1.3.2 Proceso de calentamiento	41
2.1.3.3 Proceso de filtrado	42
2.1.3.4 Separación de agentes lipídicos no deseados	43
2.1.3.5 Proceso de almacenamiento	44
2.2 INCLUSIÓN DE LA GLICERINA EN LA ALIMENTACIÓN PORCINA	45
2.3 ANIMALES, DIETA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	45
2.3.1 Determinación de parámetros en cerdas gestantes	46
2.3.2 Determinación de rendimiento y supervivencia de los lechones	47
2.3.3 Determinación de condición corporal	49
2.4 DISTRIBUCIÓN DE LA GRANJA	49
2.5 Bibliografía	50
CAPÍTULO III RESULTADOS	51
3.1 DFP Y DIAGRAMA DE BLOQUES	52
3.2 PROCESO DE SEMIPURIFICACIÓN	53
3.2.1 Composición de la Glicerina	53
3.2.2 Verificación de las características de la Glicerina durante el proceso	54
3.2.3 Rendimiento del proceso	57
3.2.4 Balance de materia	58
3.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA GLICERINA SEMIPURIFICADA EN CERDAS GESTANTES	59
3.3.1 Composición Del pienso	59
3.4 BALANCE ECONÓMICO	61
3.5 RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE LAS CERDAS	62
3.5.1 ADG de cerdas gestantes	62
3.5.2 ADFI en cerdas gestantes	63
3.5.3 F:G en cerdas gestantes	63
3.6 RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DE LOS LECHONES DURANTE LA LACTANCIA	64
3.6.1 ADG de los lechones	64



3.6.2 ADFI de los lechones	64
3.6.3 F:G en cerdas gestantes	65
3.7 DISCUSIÓN	66
3.8 Bibliografía	68
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES	70
ANEXOS	72



ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I. Antecedentes

Figura 1.1 Producción total de biocombustibles (bioetanol y biodiesel) desde 1990 a 2018	14
Figura 1.2 Reacción de transesterificación para obtener biodiesel	18
Figura 1.3 Reacción de saponificación de ácidos grasos	18
Figura 1.4 Estructura del Glicerol	21
Figura 1.5 Usos de la Glicerina comercial	25
Figura 1.6 Glicerina Cruda, a) vista frontal, b) vista superior	26

Capítulo II. Metodología

Figura 2.1 Materiales, a) vasos de precipitado, b) termómetro, c) olla de acero inoxidable, d) potenciómetro	38
Figura 2.2 Equipo, a) contenedores, b) parrillas eléctricas, c) filtro metálico, d) embudo de separación	39
Figura 2.3 Ácido sulfúrico al 98%. a) contenedor, b) ficha técnica	41
Figura 2.4 Glicerina Acidificada, a) vista frontal, b) vista superior	41
Figura 2.5 Proceso de calentamiento, a) inicio del proceso, b) separación de componentes	42
Figura 2.6 Proceso de filtrado	43
Figura 2.7 Proceso de separación, a) embudo de separación, b) obtención de productos ..	44
Figura 2.8 Valoración subjetiva de condición corporal	49
Figura 2.9 Distribución del área de maternidad de la granja porcina	50

Capítulo III. Resultados y Discusión

Figura 3.1 DFP del proceso de semipurificación de GC	52
Figura 3.2 Diagrama de bloques del proceso de producción de GS	53
Figura 3.3 a) Glicerina Cruda, b) Glicerina Acidificada, c) Sales Filtradas, d) Glicerina Semipurificada y e) Ácidos Grasos	56
Figura 3.4 Glicerina y subproductos del proceso	57
Figura 3.5 Balance de materia del proceso de producción de GS	58
Figura 3.6 Pienso con Glicerina Semipurificada	59

Anexos



Figura a.1 Simbología	73
Figura a.2 Análisis de Glicerina	74
Figura a.3 Análisis del Aceite Vegetal	74



ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo I. Antecedentes

Tabla 1.1	Diferencias y propiedades de la glicerina según su clasificación	24
Tabla 1.2	Requerimientos nutricionales para cerdas gestantes según NRC	31
Tabla 1.3	Requerimientos nutricionales para cerdas lactantes según NRC	31

Capítulo III. Resultados y Discusión

Tabla 3.1	Características de las corrientes durante el proceso de semipurificación	53
Tabla 3.2	Características de la glicerina durante el proceso	54
Tabla 3.3	Promedio del proceso de acidificación	57
Tabla 3.4	Promedio del proceso de Calentamiento	57
Tabla 3.5	Promedio del proceso de separación	57
Tabla 3.6	Composición de la dieta	60
Tabla 3.7	Balance económico por tonelada, grupo control y grupo GS2%	61
Tabla 3.8	Rendimiento en cerdas gestantes, grupo control y grupo GS2%	62
Tabla 3.9	Condición corporal en cerdas gestantes, grupo control y grupo GS2%	63
Tabla 3.10	Rendimiento en lechones, grupo control y grupo GS2%	64
Tabla 3.11	Rendimiento de las cerdas lactantes, desde el nacimiento al destete	65



RESUMEN

En este trabajo de investigación se llevó a cabo la obtención de Glicerina Cruda y su tratamiento para generar Glicerina Semipurificada, donde se removieron componentes con potencial dañino como lo son los ácidos grasos y las sales inorgánicas, principalmente, donde se utilizó el procedimiento reportado en la solicitud de patente con número MX/a/2022/012131 y se escaló hasta niveles de planta piloto para su producción a mayor escala. A raíz de esto se obtuvo el producto denominado Glicerina Semipurificada y un subproducto denominado Ácidos Grasos.

Por lo anterior, teniendo como enfoque la Glicerina Semipurificada obtenida de este proceso, se realizó la aplicación del producto como componente en la elaboración de pienso destinado a cerdas gestantes y cerdas lactantes, suministrado al grupo GS2% mediante el uso de una mezcladora con capacidad de producción de 1 tonelada en una concentración determinada del 2%, ya que el potencial energético favorece su implementación como un compuesto glucogénico que, además, pueda favorecer la palatabilidad del pienso.

Los resultados obtenidos mediante la medición del rendimiento, tanto para cerdas gestantes como lactantes, además del rendimiento en los lechones, bajo los parámetros de ADG, ADFI y F:G demostraron que la aplicación de este producto es viable en la elaboración de piensos al apegarse a los requerimientos energéticos para estas etapas sin mostrar cambios significativos respecto al grupo control. Los valores de la condición corporal fueron tomados en cuenta para la evaluación del rendimiento, el cual no mostró cambios significativos con respecto al grupo control.

Finalmente, los resultados obtenidos se contemplan en relación al aspecto económico, social y ambiental que involucra el uso de la Glicerina Cruda como materia prima y su aplicación como ingrediente en la alimentación del ganado porcino.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los biocombustibles surgen como una alternativa para atender los requerimientos energéticos, cubiertos hasta ahora por fuentes fósiles, los cuales generan dióxido de carbono y gases de efecto invernadero que afectan al medio ambiente.



Los combustibles fósiles consisten en un producto no renovable que depende de largos periodos de tiempo para su reposición natural, periodos que la sociedad actual, con el ritmo de vida y desarrollo constante y acelerado, no puede permitirse tomar. En contraposición, los biocombustibles pueden ser producidos por fuentes renovables que mediante su ciclo de producción reducen las emisiones de carbono considerablemente. Entre los biocombustibles más relevantes se encuentra el biodiesel y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) lo define como esteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga obtenidos a partir de fuentes lipídicas renovables, como lo son los aceites vegetales o las grasas animales.

Dentro de la producción de biodiesel, se obtiene como subproducto Glicerina Cruda (GC) en una concentración del 10%. La Glicerina Cruda es una mezcla formada por componentes como restos de alcohol, jabones, sales inorgánicas, restos de catalizador, ácidos grasos, restos de biodiesel y glicerol. Actualmente, se considera como un deshecho industrial que genera gastos a los productores o repercusiones para el medio ambiente. Dentro de las alternativas identificadas, se ha canalizado el uso de la glicerina cruda en la alimentación animal como suplemento con aporte energético. Su implementación directamente de la corriente de salida del proceso de producción del biodiesel genera aparentes inconsistencias en los resultados reportados y las concentraciones que pueden emplearse debido a los diferentes perfiles que pueden presentar.

El objetivo es evaluar el efecto de la Glicerina Semipurificada en una concentración de 2% sobre el rendimiento de cerdas Duroc x Landrace durante la gestación, teniendo como hipótesis que la inclusión de glicerina semipurificada inducirá un efecto sobre el rendimiento de cerdas gestantes que será similar al presentado por cerdas que fueron alimentadas con dieta estándar donde se empleó aceite vegetal como fuente energética.

Por tal motivo, en este trabajo de investigación se llevó a cabo el proceso de semipurificación de Glicerina Cruda para obtener así Glicerina Semipurificada, la cual fue implementada en la alimentación de cerdas gestantes y lactantes, en las cuales se midió el rendimiento reportado, así como realizar un balance económico y comparación entre el pienso suministrado al grupo control y el grupo GS2%.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

“La raza humana necesita un desafío intelectual, debe ser aburrido ser Dios y no tener nada que descubrir”

Stephen Hawking



1.1 BIOCOMBUSTIBLES

Desde el siglo XX los progresos que han llevado a avanzar a la sociedad han considerado a los combustibles fósiles como una de las principales fuentes energéticas, pese a la liberación de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero que se llegan a liberar durante su combustión. En 2017, el 67% de la energía total que era consumida a nivel mundial se obtuvo de fuentes fósiles [1]. Por ende, dada su demanda, las reservas de combustibles fósiles disminuyen rápidamente, y al consistir en un producto no renovable que depende de largos periodos de tiempo para su reposición naturales necesario considerar alternativas viables que permitan cubrir los requerimientos energéticos.

La búsqueda continua de combustibles que permitan cubrir las necesidades energéticas mientras que, a su vez, sean amigables con el ambiente en comparación a los combustibles fósiles, ha generado un impulso en investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, técnicas y productos que permitan sustituir total o parcialmente el uso de aquellos componentes que comienzan a ser contraproducentes para el desarrollo. Estos esfuerzos permitieron que desde el siglo XX se realizaran varias pruebas enfocadas a emplear aceites vegetales como combustible, las cuales pasaron por su etapa de desarrollo hasta llegada la década de los 1970's, cuando los biocombustibles alcanzaron un impulso en su desarrollo a consecuencia de la crisis energética que se generó en esos años, cuando el precio del petróleo se elevó a niveles considerablemente altos dada la alta demanda y la poca capacidad de cubrir la oferta [2].

1.1.1 Definición

Los biocombustibles son combustibles líquidos o gaseosos obtenidos a partir de fuentes lipídicas renovables de origen vegetal o de origen animal, conocidas como biomasa, tales como el almidón, las semillas, la celulosa y las grasas animales y vegetales, los cuales son materia de origen vegetal o animal con el potencial de ser aprovechado energéticamente. Estos se pueden presentar en estado líquido como el diésel, o en estado gaseoso, como el hidrógeno y el metano [3].

Entre las materias primas utilizadas en la producción de los biocombustibles se encuentra la biomasa obtenida de cultivos como la caña de azúcar, yuca, maíz y sorgo, entre otros; los cuales son empleados para producir etanol. Además, se encuentran fuentes lipídicas



provenientes de colza, palma, soja, higuera, etc., típicamente empleados para la producción de biodiesel [4].

Entre otras ventajas, los biocombustibles ofrecen además la oportunidad de generar empleos, emplear recursos que sean típicamente denominados como desechos, dando un valor agregado a estos mientras que disminuye la cantidad de contaminantes generados al medio ambiente. Sus características les permite considerarse como productos renovables que funcionan como sustitutos parciales o totales de combustibles fósiles dado que su uso produce dióxido de carbono, pero sin emisiones netas de carbono, disminuyendo el efecto de la concentración de gases dentro de la atmósfera [5].

1.1.2. Situación Actual de los Biocombustibles

Los biocombustibles se presentan como una alternativa eficaz que pretende atender estos aspectos sin generar un daño al medio ambiente [4].

Otro de los objetivos del uso de los biocombustibles recae en disminuir la dependencia que se tiene por los combustibles derivados del petróleo, el cual, es un recurso no renovable cuya demanda supera la oferta disponible, provocando un aumento constante en el costo de dichos combustibles. De la misma manera, busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero emitidos, tales como el dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (NO_2), metano (CH_4) o algunos halocarbonos, los cuales absorben energía que va más allá de la requerida y acumulada naturalmente, lo que conlleva a serias consecuencias en el medio ambiente. El CO_2 constituye uno de los principales gases de efecto invernadero, el cual se origina principalmente de la combustión de combustibles fósiles [6].

Considerando lo anterior, el interés por los biocombustibles ha ido en aumento durante los últimos años, apoyado indirectamente por la aplicación del Protocolo de Kioto, el cual ha favorecido que los países industrializados, que a lo largo de su desarrollo e historia han propiciado la liberación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, reduzcan las emisiones generadas de seis gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), asignando objetivos específicos para cada uno de los países considerados para reducir al menos en un 5% por debajo del nivel de 1990, proporcionando créditos fiscales a empresas que empleen fuentes de energía renovables dentro de sus procesos [7].

Generalmente, los biocombustibles son empleados para los medios de transporte, pero también pueden ser utilizados en la generación de calor o de energía eléctrica, y al ser obtenidos a partir de desechos industriales o campos de cultivos, proponen un equilibrio entre la agricultura y la industria, favoreciendo el crecimiento económico y el desarrollo laboral de las zonas rurales. Esto da como resultado un incremento definido en la producción mundial de biocombustibles a partir del comienzo del siglo XXI, (ver *Figura 1.1*).

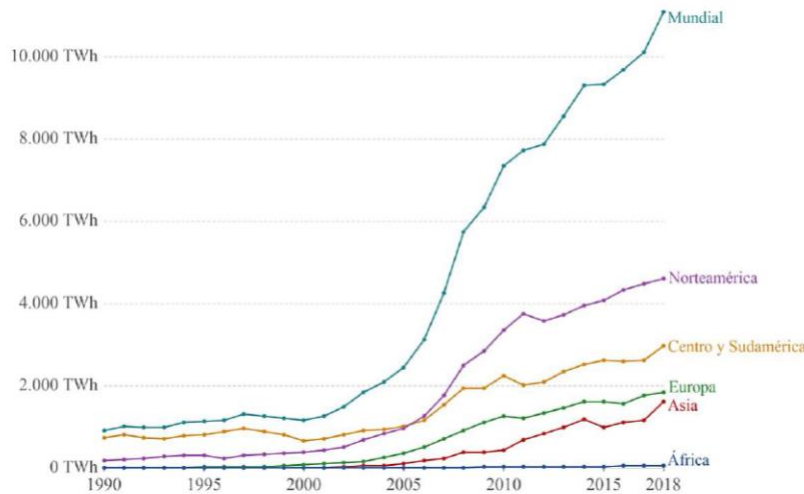


Figura 1.1. Producción total de biocombustibles (bioetanol y biodiesel) desde 1990 a 2018, medida en Terawatts-hora (TWh). Adaptado de “OurWorldInData.org”.

Para 2019, la producción mundial de biocombustibles líquidos en el mundo fue de 163 millones de m³ (55 millones de m³ más que en 2010) [8], lo que va de la mano con el creciente interés en el desarrollo de esta alternativa. Es posible, a su vez, clasificar los biocombustibles en tres grupos de acuerdo con su origen de producción, obteniendo los de primera, segunda y tercera generación [9].

Para los de primera generación, su producción se da mediante de tecnologías convencionales enfocadas a emplear aceite vegetal o animal, azúcar o almidón como sus principales fuentes, pero ya que se tratan de fuentes de alimentación y dada la también creciente demanda de fuentes de alimento se requiere entonces realizar el desarrollo de otro mecanismo de generación, dando los biocombustibles de segunda generación [10].

Estos se obtienen a partir de los cultivos no enfocados a producir alimentos o a fracciones de cultivos que no son propios para su consumo y por lo tanto encajan en la



descripción de desecho, como lo son las cascarras, tallos y cortezas, etc. Lo cual a su vez favorece a una menor emisión de gases de efecto invernadero en comparación a los biocombustibles de primera generación. Por último, los biocombustibles de tercera generación comprenden aquellos obtenidos a raíz de aceites. La Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la promoción del uso de energía procedente de fuentes renovables, denomina a los biocombustibles de segunda y tercera generación como “biocombustibles avanzados” [10].

1.2 BIODIESEL

Dentro de los biocombustibles más solicitados y a los que más impulso se ha dado en su desarrollo e investigación, se encuentra el biodiesel. Como antecedente, se tiene la patente belga 422.877, la cual fue otorgada en 1937 a G. Chavanne (Universidad de Bruselas, Bélgica) como, probablemente, el primer reporte de lo que el día de hoy conocemos como “biodiesel”. Allí se encuentra una descripción del uso de esteres etílicos de aceite de palma como combustible para su uso en un motor diésel. Posteriormente, en 1942 se tiene un reporte que describe la prueba piloto de un autobús urbano que funciona empleando éster etílico de aceite de palma. Aun así, el término “biodiesel” se empleó en la literatura técnica ubicado en un artículo originario de China en el año 1988 titulado Desarrollo de Combustible Biodiesel, de Taiyangneng Xuebao [1].

1.2.1 Definición

La Sociedad Americana para pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) define el biodiesel como esteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de las fuentes lipídicas renovables, como aceites vegetales o grasas animales, empleado en los motores de ignición de compresión (motores diésel) o para calderas de calefacción. El biodiesel se encuentra en fase líquida, formado mediante materias primas lipídicas renovables, de un color amarillo en tono ámbar, cuya viscosidad es similar al del diésel obtenido del petróleo, sin ser explosivo y muy poco inflamable, cuyo punto de inflamación es superior en comparación con el diésel obtenido de combustibles fósiles [11]. Este biocombustible tiene la capacidad de reemplazar total o parcialmente a aquellos provenientes de combustibles fósiles en motores diésel, requiriendo solo pocas modificaciones, teniendo



rendimientos comparables y con el beneficio de ofrecer un beneficio al medio ambiente en comparación a los gases de efecto invernadero generado por los motores convencionales.

1.2.2 Materias primas

Si bien los medios de fabricación y los procesos empleados pueden variar de acuerdo con las técnicas y los elementos que componen al biodiesel, son en general tres las partes fundamentales requeridas para la producción de biodiesel: Los aceites, alcoholes y catalizadores.

1.2.2.1 Aceites

Dados que las fuentes lipídicas renovables (aceites vegetales y grasa animal) están constituidos principalmente por triglicéridos o ésteres de ácidos grasos como glicerol, su uso en la producción del biodiesel resulta atractivo para la industria dedicada a la producción de este biocombustible; sin embargo, es necesario mantener el rendimiento de la reacción, así como la calidad y pureza del producto en un nivel muy alto, lo cual requiere que las fuentes lipídicas sean previamente refinadas y presenten así una alta pureza, eliminando componentes poco favorables para la producción como lo son metales, agua, hidrocarburos y ácidos grasos libres. Sin embargo, otro factor importante es la necesidad de conservar una materia prima de bajo costo que sea capaz de realizar el procedimiento industrial de producción de manera eficaz y económica, por lo que los aceites provenientes de cebos y aceites residuales de fritura son sumamente atractivos para la industria siempre que presentes las características óptimas para el proceso, sea por una purificación previa o un tratamiento eficaz. El precalentamiento de los aceites previo a su uso en el proceso favorece la disminución de la humedad presente y la saponificación para tratar el índice de acidez, el cual, sirve como indicador de la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite, facilitando las reacciones de saponificación a temperaturas elevadas mayores a 50°C, disminuyendo el rendimiento y la calidad del biocombustible [1].

Algunos de los aceites vegetales comestibles usados, como los aceites de semillas de girasol, aceites de palma o de soya, se presentan como una prometedora materia prima, además de los aceites no comestibles o los aceites obtenidos de procesos, cuya generación los destine a un almacenamiento prolongado o como desecho, lo cual, permita darle un valor agregado mientras que se mantienen como una materia prima de calidad a bajo precio. Los



aceites de origen animal suelen ser provenientes del procesamiento de residuos de la industria cárnica, lo cual limita la disposición que se tiene de estos en comparación a la disposición de los aceites vegetales

Por último, se tiene la alternativa de los aceites provenientes de desarrollos biotecnológicos, como son la producción de aceite a partir de microalgas, los cuales son fuentes ricas en ácidos grasos polinsaturados, así como los aceites formados mediante el uso de levaduras [12].

1.2.2.2 Alcoholes

Múltiples investigaciones sobre la producción de biodiesel han lanzado a la luz que la presencia de alcoholes con un grupo hidroxilo lineal o ramificado no mayor a cinco carbonos en su cadena carbonada lleva a cabo la reacción de producción del biocombustible; incluso, se pueden emplear mezclas, especialmente cuando el alcohol se produce por procesos fermentativos [13]. El tamaño de la longitud de la cadena lineal tiene un efecto con la reactividad de la producción del biodiesel, ya que la flexibilidad de la cadena disminuye la probabilidad de choque con otros reactivos [4]. El metanol es uno de los alcoholes más utilizados para la producción industrial del biodiesel, aunque de acuerdo con los principios teóricos, cualquier alcohol podría ser utilizado en la fabricación. Es importante destacar que las propiedades del producto y las características del proceso podrán variar de acuerdo con el alcohol que se emplea en la reacción [3].

1.2.2.3 Catalizadores

Los ésteres alquílicos de ácidos grasos se producen principalmente por transesterificación o alcoholisis de triglicéridos empleando alcoholes ligeros [14]. Empleando la estequiometría de la reacción es posible definir que un mol de triglicéridos reacciona con tres moles de alcohol, lo que produce tres moles de ésteres y un mol de glicerol, el cual corresponde a un residuo de la reacción (ver *Figura 1.2*).

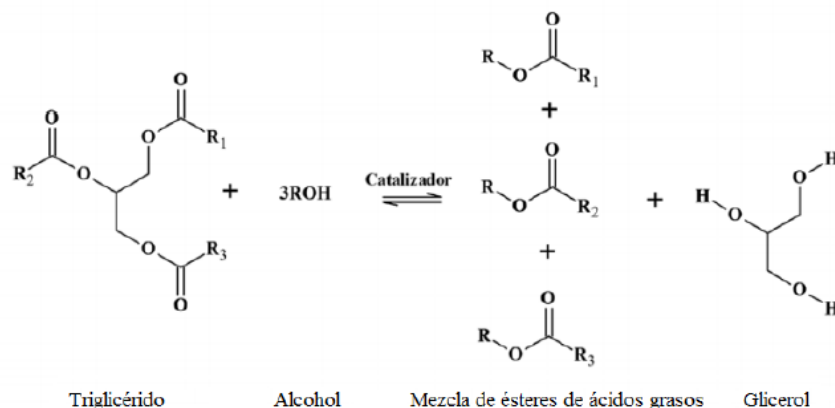


Figura 1.2. Reacción de transesterificación para obtener biodiesel. Obtenido de Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales empleando catalizadores sólidos nanoestructurados. Sanchez, E.

Debido a que la velocidad de reacción no alcanza la rapidez óptima del proceso se emplea un catalizador que permita acelerarla. Estos catalizadores pueden presentarse de forma inorgánica o de forma orgánica, así como tener un carácter básico o ácido y encontrarse en solución o en fase sólida [15].

Los catalizadores orgánicos suelen estar constituidos por enzimas, lo que los hace biocatalizadores. En presencia de un catalizador de carácter básico, como puede ser el hidróxido de sodio (NaOH) o el hidróxido de potasio (KOH), la reacción se facilita generando una saponificación de ácidos grasos libres (ver *Figura 1.3*), la cual es una reacción indeseable ya que el rendimiento se ve afectado, dificulta la separación de fases entre la glicerina y los monoalquilesteres, además de demandar un gran consumo del catalizador, lo cual eleva los costos [16].

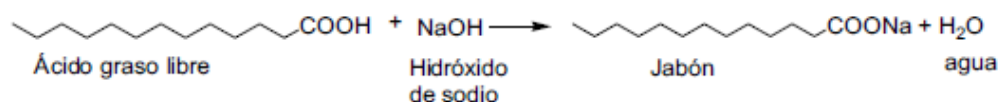


Figura 1.3. Reacción de saponificación de ácidos grasos. Grande, 2014.

Los catalizadores inorgánicos básicos tienen una preferencia para ser usados en la industria, dado que la velocidad de reacción resulta favorable para el proceso; además, los catalizadores en solución presentan mayor actividad con la desventaja de ocasionar etapas de



purificación del producto, las cuales resultan en un incremento en los costos de producción [15].

1.2.3 Situación actual del biodiesel

El biodiesel tiene como objetivo principal sustituir al diésel obtenido de combustibles fósiles en su totalidad o parcialmente, dentro de motores de combustión diésel o en calderas de calefacción, siendo una alternativa ecológica, renovable y de relativa fácil producción [17].

El uso del biodiesel de forma internacional trajo consigo una nomenclatura única que permite identificar las concentraciones de dicho combustible cuando se encuentra en mezclas, conocida como nomenclatura BXX, donde las dos XX representan el porcentaje, en volumen, de biodiesel presente en una mezcla de diésel/biodiesel, donde se pueden tener concentraciones totales o parciales de biodiesel. En la actualidad se cuenta con cuatro concentraciones principales de biodiesel dentro del mercado de los combustibles: El total (B100), las mezclas (B20 a B30), el aditivo (B5) y el aditivo lubricante (B2). Las mezclas B5 y B20 son las más comunes [11]. En 2019 la producción de biodiesel en el mundo fue de 50 millones de m³[8]. En México, su producción formal se encuentra limitada debido al comercio informal y los productores que llevan a cabo el proceso de producción de biodiesel de manera no sistemática ni registrada. Para 2007, se estimó una producción de 3300 toneladas al año, aproximadamente, mientras que para el año 2017 ya se habían instalado siete plantas de biocombustibles en territorio Mexicano, de las cuales seis de ellas están enfocadas al proceso de producción de biodiésel y una para el proceso de producción de bioetanol, dando una capacidad de producción total de 42.2 millones de litros anuales, donde los productores pueden participar en calidad de socios, con la finalidad de incentivar el desarrollo de estos combustibles de manera formal [18].

1.2.4 Proceso de producción y subproductos

La producción de biodiesel se suele dar de dos maneras: por catálisis heterogénea y por catálisis homogénea. En términos generales, puede implicar un proceso del tipo batch o del tipo continuo, donde el primero se da por lotes y es comúnmente empleado en plantas de dimensiones pequeñas debido al control que pueden ofrecer en el proceso, disminución de contaminación de producto final por fallas y un menor consumo energético. Por otro lado, el



proceso continuo tiene el beneficio de lograr producir en mayor volumen con un tiempo considerablemente menor al mantener un ritmo de producción constante [19].

1.3. GLICERINA CRUDA

El glicerol es un compuesto químico básico que se obtiene principalmente como producto secundario de la producción de biodiesel, aunque también puede encontrarse como subproducto de la industria de elaboración de jabones. Cuando es tratado adecuadamente y se alcanza el nivel de pureza deseado para su uso comercial, se conoce a este compuesto como glicerina. Se encuentra presente naturalmente de forma combinada como triglicéridos en las grasas animales y en los aceites vegetales, constituyendo aproximadamente un 10% de la composición total [20]. Es posible, a su vez, obtenerlo de forma sintética por procesos petroquímicos; sin embargo, ya que suele ser un desecho de la industria, su elaboración sintética no tiene mucho valor, ya que comprende un aumento en el costo del producto al implicar gastos de producción que van más allá de los generados al tenerlo como un producto secundario.

Durante el proceso de producción de biodiesel se genera, como subproducto, glicerina cruda. Por cada 10 kg de biodiesel producido se genera 1 kg de glicerina cruda, es decir, un 10% de la producción total de biodiesel corresponde a la generación de este subproducto, el cual, está compuesto por sustancias como; restos de alcohol, metanol, jabones, sales, ácidos grasos y residuos de biodiesel [20]. Para el año 2019 la producción mundial de glicerina cruda fue de 5 millones de m³ (10% de la producción total de biodiesel).

1.3.1 Definición

El glicerol o propano-1,2,3-triol con fórmula química $C_3H_8O_3$, es un triálcohol de baja toxicidad que consta de una cadena de 3 carbonos con un grupo hidroxilo unido a cada uno de los carbonos. Es sumamente versátil al poseer dos grupos hidroxilos primarios y uno secundario, los cuales ofrecen diferentes posibilidades de reacción [21]. La molécula del glicerol es de sumo interés debido a su compatibilidad con otros productos químicos dada la presencia de los grupos alcohólicos, los cuales pueden ser remplazados por otros grupos funcionales formando derivados como aminas, aldehídos y ésteres [22]. (Ver *Figura 1.4*)

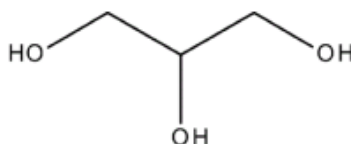


Figura 1.4. Estructura del Glicerol

Típicamente, es un componente utilizado como materia prima debido a sus características, tales como la estabilidad bajo condiciones típicas de almacenamiento, bajo grado de toxicidad, no presenta irritabilidad y es sumamente compatible con otros productos químicos, lo que da una versatilidad al producto para ser empleado en diferentes ramas de la industria.

Es un líquido incoloro e inodoro, no genera daños ambientales, con punto de ebullición a 290 °C, es soluble en agua y otros disolventes polares. Posee un pH neutro, químicamente estable en condiciones típicas de almacenamiento [23]. Puede ser generada por transesterificación de grasas y aceites, típico del proceso de producción. Actualmente, en diversos lugares del mundo, la glicerina cruda es considerada como un producto de desecho, lo que representa un impacto ambiental negativo. Se sabe que, el contenido de glicerol es lo que determina el grado de pureza de la glicerina pues, según su concentración, se puede clasificar la glicerina, permitiendo determinar la industria a la que va dirigida y sus posibles usos como materia prima [21].

1.3.2 Clasificación

El glicerol obtenido de la industria de los biocombustibles presenta características poco convenientes para su uso, ya que la materia prima suele ser aceite vegetal o animal usado, que cuenta con contaminantes que deben ser removidos posteriores al proceso de producción de biodiesel. Tales contaminantes incluyen al agua, jabones, sales inorgánicas, restos de comida o ácidos grasos, por lo que se requiere de procesos de purificación para llevar al punto de glicerina comercial. Según la concentración presente de glicerol, se puede clasificar la glicerina, estableciendo los parámetros que permiten determinar la industria a la que va dirigida y sus posibles usos como materia prima [21].

Comercialmente se pueden encontrar tres tipos de glicerina, caracterizados conforme su grado de pureza, teniendo la glicerina cruda, glicerina de grado técnico y glicerina refinada.



1.3.2.1 Glicerina refinada

La glicerina certificada por la United States Pharmacopeia (USP) y el Food Chemicals Codex (FCC) para su aplicación en productos de consumo, garantiza la calidad y coherencia necesaria para la elaboración de estos productos [21]. El uso de certificaciones en la calidad de la glicerina empleada como materia prima radica en los riesgos a la salud que conlleva el emplear un producto que no tenga el tratamiento adecuado o que no posee la calidad necesaria para ser empleada como materia prima, pues los componentes presentes como contaminantes pueden desencadenar severos daños a la salud que afecten al paciente llegando a presentar incluso el deceso de una persona por la ingesta de un alimento o fármaco.

La glicerina refinada es un producto que cuenta con la calidad necesaria para ser empleada, principalmente, en la industria farmacéutica, al presentar una concentración del 99% de glicerol, permitiendo que pueda ser utilizada en alimentos, cuidado personal, productos farmacéuticos, etc. Sus propiedades y nivel de pureza permiten que cumpla con las especificaciones determinadas por la USP y con el código de la FCC. Los productores de glicerina refinada están estrictamente regulados respecto a los procesos e instalaciones de fabricación, almacenamiento y distribución, se debe estar registrado y cumplir con todos los lineamientos. [24].

La glicerina refinada es utilizada en la industria farmacéutica, alimentos, cuidado personal, consumibles, etc. En la industria farmacéutica, se emplea como disolvente, dando al medicamento humedad y aumento en la viscosidad, es común encontrarlo en jarabes para la tos, ser empleado como portadores de antibióticos y antisépticos o como componente de las capas de cápsulas. Su uso en la industria del cuidado personal se enfoca en la lubricación, mejorando la textura y humectando los productos, además de ser uno de los ingredientes principales en las pastas de dientes o en productos entubados, como las cremas, para así evitar la resequedad.

1.3.2.2 Glicerina de grado técnico

Este producto requiere de una alta pureza que puede ir del 85% hasta el 98% al tener la mayoría de sus contaminantes removidos y dejar una sustancia libre de metanol, jabones, sales y ácidos grasos casi en su totalidad. Actualmente, la cantidad de glicerol que se destina a aplicaciones técnicas es de alrededor de 160 000 toneladas [25]. Los precios de glicerol en



dicha calidad se han mantenido casi sin modificaciones durante el paso del tiempo, mientras que se aumenta el uso de este, así como las técnicas de refinación.

La glicerina de grado técnico permite un desarrollo de productos cuyas especificaciones no demanden una pureza casi total, ya que se tienen niveles aceptables para emplearlo como materia prima humectante, pero carece de la suficiente calidad como para ser usado como parte de los procesos de consumibles que requieran ajustarse a estándares altos, como el caso de los fármacos, dado que las trazas de contaminantes pueden resultar en una reacción adversa o un daño al cuerpo humano. La glicerina de grado técnico no requiere de cumplir con lineamientos ni especificaciones que estén más allá de las acordadas por el productor y el comprador.

En la industria alimenticia, es utilizada como edulcorante y conservador, normalmente utilizado en la producción de café, té y otros productos de origen vegetal, además de ser empleado como agente suavizante en panadería, quesos y dulces. Sus usos se extienden a la industria textil, donde se emplea como lubricante y suavizante, en la producción de tabaco para eliminar irritantes que resulten desagradables y mejorar la palatabilidad y en la producción de papel como agente plastificante [23].

1.3.2.3 Glicerina Cruda

La glicerina cruda es el producto obtenido en la corriente de salida del proceso de producción de biodiesel, la cual se encuentra con grandes cantidades de contaminantes como agua, restos de alcohol, jabones, catalizador, restos de biodiesel, sales, ácidos grasos y glicerol. Debido a la creciente producción de biocombustibles, la glicerina cruda ha tenido un considerable aumento en su producción como subproducto mientras que su demanda se mantiene estable, provocando un bajo precio en su compra e incluso que llegue a ser considerada como un desecho industrial al generar más gastos de almacenamiento que las ganancias obtenidas al venderlo.

Esto provoca que se desarrollen tratamientos para la glicerina cruda con el objetivo de aumentar el grado de pureza, que suele ir del 40-88%, o de cumplir con los requerimientos establecidos por las normas para el uso del glicerol como materia prima dentro de las diferentes industrias interesadas, siendo las farmacéuticas y las industrias de comida aquellas que requieren de un grado de pureza casi total y de especificaciones concretas en las características de la materia prima por la naturaleza de su uso [6].

En el proceso de tratamiento de la glicerina cruda, se manipulan factores de relevancia como el pH y la temperatura, así como la remoción de contaminantes sólidos que se encuentran presentes en la corriente de salida del subproducto. Los métodos convencionales de purificación suponen un gasto de recursos y de energía que elevan el costo final del producto y que no garantizan una purificación de la glicerina que permita distribuirla como glicerina refinada o USP.

La glicerina cruda presenta valores de pH que oscilan entre 9 y 11, además de que la presencia de fuentes lipídicas puede generar una consistencia sólida debido a la coagulación de estas. También cuenta con un aroma fácilmente identificable, aunque sutil, y en presencia de grandes cantidades de sales se puede identificar el aroma característico del azufre, lo cual a su vez complica darle un tratamiento de purificación a la glicerina cruda.

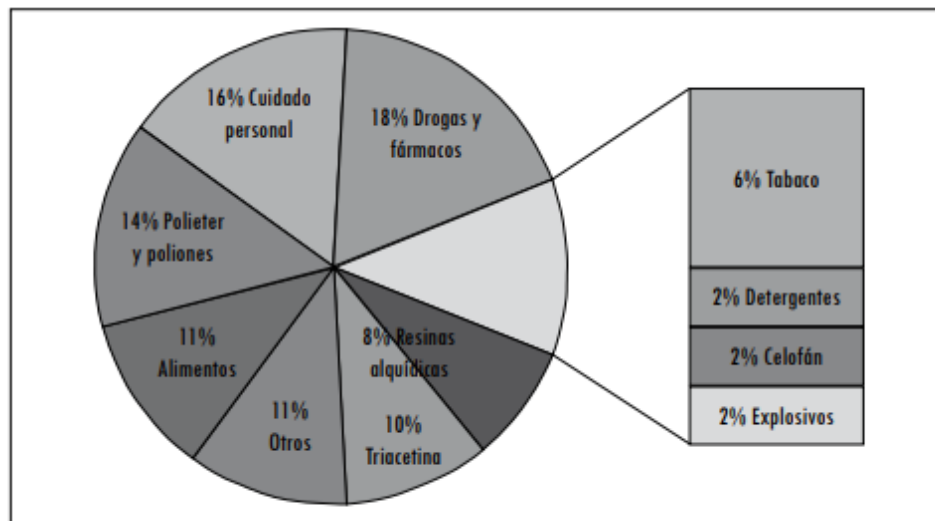
En la Tabla 1.1, se presentan las propiedades y diferencias de los diferentes tipos de glicerina que se han mencionado.

Tabla 1.1. Diferencias y propiedades de la glicerina según su clasificación. Recuperado de <https://www.srsbiodiesel.com/technologies/glycerin-purification/glycerin-specifications/>

Propiedades	Glicerina Cruda	Glicerina de Grado Técnico	Glicerina Grado USP
Contenido de Glicerol	40-88%	98% Min	99.70%
Cenizas	2% Max	N/A	N/A
Contenido de Humedad	N/A	2% Max	0.3% Max
Cloruros	N/A	10 ppm Max	10 ppm Max
Gravedad Específica	N/A	1.262	1.2612 Min
Sulfato	N/A	N/A	20 ppm Max
Metales pesados	N/A	5 ppm Max	5 ppm Max
Compuestos Clorados	N/A	30 ppm Max	30 ppm Max
Residuo en Ignición	N/A	N/A	100 ppm Max
Ésteres y Ácidos Grasos	N/A	1.00 Max	1.000 Max
Agua	12% Max	5% Max	0.5% Max
pH (solución al 10%)	4.0-9.0	4.0-9.1	N/A
Impurezas Volátiles Orgánicas	N/A	N/A	Aprobado
Residuo Orgánico	2.0% Max.	2.0% Max.	N/A

1.3.3 Aplicaciones de la Glicerina

La glicerina posee un potencial muy amplio dentro de su campo de desarrollo como materia prima, como se ha comentado antes, debido a su versatilidad, por lo que las aplicaciones comerciales están relacionadas con productos alimenticios, tabaco, fármacos, síntesis de trinitroglicerina, resinas alquídicas y poliuretanos [26]. Se pueden apreciar los diferentes usos junto con el porcentaje empleado en las diferentes industrias para la glicerina (ver *Figura 1.5*).



Fuente: (Pagliario, 2008).

Figura 1.5. Usos de la Glicerina comercial. Pagliario (2008) utilizado por Posada Duque & Cardona Alzate (2010)

La GC encuentra limitantes en estas aplicaciones dadas las concentraciones de contaminantes presentes en su composición. Actualmente se han optado por diferentes medidas, como son el almacenamiento, lo cual genera gastos para los productores y no ofrece una solución real al problema. Su uso como fuente de carbono en suelos de cultivo, resulta contraproducente a largo plazo debido a las alteraciones generadas en la población microbiana presente; su incineración genera gases tóxicos, como la acroleína, la cual resulta dañina para los trabajadores y el medio ambiente [26].

1.3.4 Glicerina Cruda como subproducto

La Glicerina Cruda proveniente de la salida del proceso de producción de Biodiesel es una mezcla de glicerol con diferentes contaminantes. Como subproducto, suele ser tratado como deshecho por las industrias generadoras, lo cual hace que una gran cantidad de este resulte en un contaminante para el medio ambiente mientras que se destina a una pequeña fracción a la investigación de posibles aplicaciones.

La Glicerina Cruda cuenta con características corrosivas, la presencia de agentes lipídicos en su elaboración genera características aceitosas en la mezcla, que, en consistencia sólida, supone una complicación para su manejo (ver Figura 1.6).

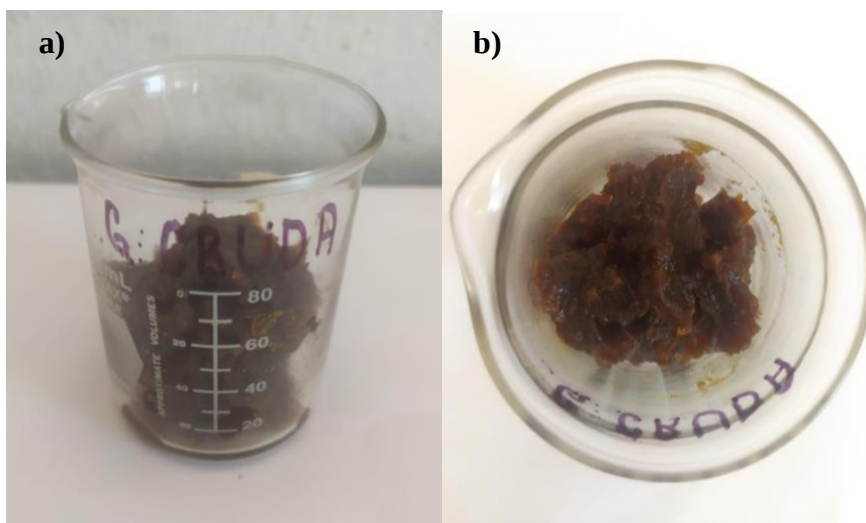


Figura 1.6. Glicerina Cruda, a) vista frontal, b) vista superior.

1.3.5 Implementación de la Glicerina Cruda en la alimentación animal

Entre las alternativas, una de las que despierta un mayor interés debido a su potencial de aplicación es el uso de la Glicerina Cruda en la alimentación animal. El uso de Glicerina Cruda tiene como objetivo mimetizar el efecto calórico del aceite vegetal como una alternativa redituable, mejorando la palatabilidad mediante un compuesto glucogénico. La Glicerina Cruda ya se ha implementado como fuente de energía para diferentes animales. En especies bovinas, se suministran valores entre 5 y 12%. En estos trabajos de investigación se ha determinado una ausencia en cambios significativos, sin efectos negativos en vacas lactantes y una disminución en los costos de producción [27].

La Glicerina Cruda se ha suministrado como suplemento alimenticio para becerros en concentraciones que van del 5 al 25%. Estos experimentos buscaban probar la adición de Glicerol como sustituto de maíz, buscando un incremento en el metabolismo de la glucosa y



el rendimiento de los animales; sin embargo, los datos indican que no se encuentran diferencias significativas respecto de los grupos de control, atribuido principalmente a la elaboración de dietas balanceadas de forma isoproteica e isoenergética, de tal forma que la nutrición animal se mantuviera estable sin importar la cantidad de Glicerina suministrada [28].

Se han realizado, además, pruebas para evaluar el efecto del glicerol en la dieta sobre digestibilidad de nutrientes y las características de la canal y carne de cabras de engorde con valores que van de 8 al 20%. Al evaluar estas pruebas fue posible determinar que el glicerol no afecta la digestibilidad de los nutrientes como materia seca, proteína, extracto etéreo y fibra. Sin embargo, un 15% de glicerina bruta en la dieta perjudica el consumo, digestibilidad y el rendimiento, lo que puede ser perjudicial para los animales en engorde [29].

1.3.6 Implementación de la Glicerina Cruda en la alimentación porcina

Los productos de la ganadería porcina son una gran fuente de proteínas de alta digestibilidad y de algunos micronutrientes como son el hierro, selenio, zinc y vitamina B12 [30]. Todas estas características le hacen posicionarse como uno de los alimentos de gran importancia tanto a nivel nutricional como económico, siendo la industria cárnica el primer sector industrial dentro de la industria agroalimentaria. De acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2010) las empresas cárnicas representan el 14.4% del total del sector de alimentación y bebidas. Principalmente en los países desarrollados, los consumidores buscan productos de buena calidad que tengan los controles de seguridad alimentaria y de higiene y salud adecuadas para su consumo, que aporten los nutrientes necesarios y además, que sean accesibles para el mercado en cuestión, siendo el precio y el aspecto externo factores a los que se les da mayor relevancia, por lo que reducir los costos de dicho aspecto es de gran interés para poder competir en un creciente mercado, claro, sin disminuir la calidad del producto, para que a su vez puedan mantener los estándares establecidos. En México, el sector porcino proporciona una de las principales fuentes de proteína, solo detrás del pollo, como la segunda carne más consumida del país [31]. Actualmente, México ha desarrollado sistemas productivos de porcinos, tanto tecnificados como semi tecnificados y han desarrollado infraestructura de altos estándares que permiten



mantener la calidad de la carne en cada uno de los procesos de la industria, tanto para productos como para subproductos.

Con lo anterior, resulta menester continuar en la búsqueda de técnicas que contribuyan a incrementar el valor de la glicerina cruda en el mercado y favoreciendo su aplicación. Acorde con esto, la NOM-012-ZOO-1993 titulada Especificaciones para la regulación de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por estos, con modificaciones en el año 2005, indica que las etapas de producción deben contar con un protocolo de elaboración adecuado, así como de buscar eliminar la mayor cantidad de contaminantes presentes que sean o puedan ser dañinos para los productos finales y realizar las pruebas correspondientes para garantizar la calidad, detectar riesgos de contaminación o prever situaciones que puedan ser dañinos a la salud del consumidor.

El emplear la glicerina cruda como un componente con aporte energético en la alimentación de ganado se ha desarrollado en las últimas décadas para diferentes animales en la industria de los cárnicos, resaltando a la ganadería porcina como uno de los principales sectores a desarrollar esta aplicación dada su capacidad omnívora [32].

Dentro de las primeras pruebas realizadas que relacionan el consumo de glicerina cruda con la calidad de la carne al ser consumida como un componente en la alimentación de cerdos de engorde, se encuentra el trabajo realizado por Kijora y su equipo de trabajo, quienes en 1995 realizaron pruebas con glicerina cruda. En este trabajo, se encontró que la dieta formulada con glicerol no modificó el rendimiento de la canal ni la calidad de la carne [33].

Kijora *et al.* en 1995 realizaron pruebas empleando 5, 10, 20 y 30% de GC en la alimentación en cerdos de engorde para examinar si el consumo de proteína cruda por Kg aumentado en peso corporal puede disminuir al emplear una dieta con GC en comparación al grupo de control. Debido a factores externos, como enfermedades en los sujetos de prueba, los datos obtenidos fueron reducidos constantemente. Los grupos de prueba de 5 y 10% presentaron un rendimiento similar al grupo de control, siendo el grupo con 10% de GC aquel que presentó mejores resultados a diferencia de los grupos con 20 y 30% de GC en la dieta, los cuales tuvieron valores ligeramente por debajo del grupo de control [33].

Lammers *et al.* en 2008 llevaron a cabo un proyecto en el que se suministraron concentraciones de 0%, 5% y 10% de glicerina cruda con un porcentaje de 84.51% de



glicerol, donde evaluaron los datos de promedio de ganancia diaria (ADG, por sus siglas en inglés, Average Daily Gain) promedio de consumo de alimento diario (ADFI, por sus siglas en inglés, Average Daily Feed Intake) y la eficiencia alimenticia (F:G, Feed:Gain); incluyendo muestras de sangre y análisis de calidad en la carne. Los resultados mostraron que al alimentar con una concentración del 10% o superior no se produce ningún efecto sobre sus parámetros evaluados, pero se incrementa el costo de alimentación. Adicionalmente los parámetros para medir el rendimiento no se vieron afectados en comparación con los datos reportados por el grupo de control [34].

Della *et al.* en 2009 evaluaron glicerol puro en concentraciones de 5 y 10% en la dieta formulada, además del grupo de control. En este trabajo, se encontró que el grupo con 5% igualo el rendimiento que el grupo de control, mientras que el grupo al 10% mostró un rendimiento inferior. El crecimiento reportó el mismo desempeño para ambos grupos. El desempeño obtenido fue atribuido a la capacidad de desechar el glicerol fácilmente mediante la orina [35].

Shieck *et al.* en 2010 valoraron el efecto del uso de GC como suplemento en cerdas lactantes con adiciones de 3, 6 o 9% en la dieta estándar suministrada. Aquí se encontró que el uso de glicerol crudo no afectó de manera significativa al estrés en las cerdas lactantes, al mantener las tasas de respiración y la temperatura corporal similar al grupo de control, así como determinar que en concentraciones superiores al 9% no se tiene un efecto sobre los resultados en comparación a las cerdas alimentadas con dieta estándar [36].

De Oliveira *et al.* en 2012 utilizaron GC de dos tipos para hacer un ensayo de digestibilidad y pruebas de rendimiento con concentraciones de 4, 8 y 12% en cerdos de línea de producción. El estudio demostró que, pese a los contaminantes presentes, como los ácidos grasos y trazas de catalizador, la GC resulta ser una excelente fuente de energía para alimentar cerdos, atribuyendo a la presencia de ácidos grasos como promotores de fuentes de energía. También se reporta que la poca estabilidad en las composiciones de la GC y sus contaminantes puede afectar la capacidad de aprovechar esta energía, por lo que los resultados pueden no ser consistentes al cambiar de lote [37]. En estos trabajos de investigación se buscaba mimetizar el efecto calórico del maíz, o del aceite vegetal, empleando GC como una alternativa redituable que permitiera aumentar las ganancias de los productores. Es importante mencionar que algunas de las aparentes “inconsistencias” en el



desarrollo de este trabajo recaen en la naturaleza de la Glicerina Cruda, ya que la composición que esta pueda presentar va a variar de acuerdo con el proceso de producción y la calidad de la materia prima empleada durante el proceso de generación de Biodiesel.

1.4. REQUERIMIENTOS EN LA ALIMENTACION PORCINA

Los requerimientos nutricionales se pueden expresar en Energía Metabolizable (ME), Energía Neta (NE), Energía Bruta (GE) y Energía Digestible (DE). La alimentación en cerdas gestantes y en cerdas lactantes requiere cubrir con diferentes demandas alimenticias propias de cada una de las etapas [38]. En el periodo de gestación, se requiere que las cerdas cuenten con la nutrición que permita el desarrollo adecuado de los fetos, mantenga las condiciones corporales y se logre un aumento de peso. Mantener las condiciones comprende el 75-85% de los requisitos, sin mencionar que el ambiente y actividad en los animales se debe de mantener estable para evitar alteraciones en esta etapa [39].

Aproximadamente, un 15% de la energía total requerida por las cerdas gestantes es requerida para la ganancia de peso materna, mientras que un 5% es destinado al desarrollo de la camada. De forma cuantitativa, se requieren de 110 kcal/kg de peso metabólico.

El desgaste en las cerdas es un parámetro que permite relacionar la condición física de las cerdas durante la etapa de gestación y lactancia, facilitando identificar condiciones de salud o afecciones que pudieran afectar a las camadas. Es evaluado mediante una escala que va de 0 a 5, valores que son asignados por el productor de acuerdo con su experiencia.

De acuerdo con la AOAC [40] las dietas se desarrollan para ser isocalóricas e isoenergéticas. Las composiciones calculadas para la elaboración de pienso en la industria porcina se determinan con fundamento en la AOAC para estandarizar la nutrición y garantizar un adecuado desarrollo. Las cerdas gestantes, como ya se ha mencionado, requieren cubrir una demanda energética adecuada para la etapa en que se encuentran, lo cual comprende los días de gestación y la ganancia de peso esperada.

En la Tabla 1.2, se presentan los valores de referencia a los requerimientos nutricionales en cerdas gestantes proporcionados por el NRC [38]

Tabla 1.2. Requerimientos nutricionales para cerdas gestantes según NRC

Dieta de calcio, fósforo y aminoácidos requeridos para cerdas gestantes												
Paridad (Peso corporal en la cría, kg)	1 (140)		2 (165)		3 (185)		4 + (205)					
Ganancia de peso anticipada en la gestación (kg)	65		60		52.2		45		40		45	
Tamaño previsto de la camada	12.5		13.5		13.5		13.5		13.5		15.5	
Días de gestación	< 90	>90	< 90	>90	< 90	>90	< 90	>90	< 90	>90	< 90	>90
EN contenida en la dieta (kcal/kg)	2518	2518	2518	2518	2518	2518	2518	2518	2518	2518	2518	2518
Contenido de ED efectivo en la dieta (kcal/kg)	3388	3388	3388	3388	3388	3388	3388	3388	3388	3388	3388	3388
Contenido de EM efectivo en la dieta (kcal/kg)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Ingesta de EM efectiva estimada (kcal/día)	6678	7932	6928	8182	6928	8182	6897	8151	6427	7681	6521	7775
Ingesta estimada de alimento + desperdicio (g/día)	2130	2530	2210	2610	2210	2610	2200	2600	2050	2450	2080	2480
Ganancia de peso corporal (g/día)	578	543	539	481	472	408	410	340	364	298	416	313

Las cerdas lactantes requieren de un aporte energético adecuado que les permita recuperar las condiciones corporales adecuadas mientras son capaces, a la vez, de cubrir con la lactancia de los lechones.

En la Tabla 1.3, se presentan los valores de referencia a los requerimientos nutricionales en cerdas lactantes proporcionados por el NRC [38]

Tabla 1.3. Requerimientos nutricionales para cerdas lactantes según NRC

Dieta de calcio, fósforo y aminoácidos requeridos para cerdas lactantes						
Paridad	1			2+		
Peso corporal postparto (kg)	175	175	175	210	210	210
Tamaño de la camada	11	11	11	11.5	11.5	11.5
Duración de la lactancia (días)	21	21	21	21	21	21
Promedio de ganancia diaria de peso de lechones lactantes (g)	190	230	270	190	230	270
EN contenida en la dieta (kcal/kg)	2518	2518	2518	2518	2518	2518
Contenido de ED efectivo en la dieta (kcal/kg)	3388	3388	3388	3388	3388	3388
Contenido de EM efectivo en la dieta (kcal/kg)	3300	3300	3300	3300	3300	3300

Ingesta de EM efectiva estimada (kcal/día)	18.7	18.7	18.7	20.7	20.7	20.7
Ingesta estimada de alimento + desperdicio (g/día)	5.95	5.95	5.93	6.61	6.61	6.61
Cambio anticipado del peso corporal de la cerda (kg)	1.5	-7.7	-17.4	3.7	-5.8	-15.9

1.5 Bibliografía

1. Sánchez, E., Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales empleando catalizadores sólidos nano estructurados. Universidad Tecnológica Nacional. CONICET; 2018.
2. Texo, J., Bentancur, C., Duque, J., Perspectivas Generales de Desarrollo de la Industria de los Biocombustibles en el Uruguay. Facultad de Ciencias Económicas y Administración. Universidad de la República; 2009.
3. Valdez, R., Biocombustibles, Perspectivas, Riesgos y Oportunidades. Universidad Católica Boliviana San Pablo. PERSPECTIVAS; 2009.
4. Grande, D., Aprovechamiento de residuos agroindustriales. Biocombustibles. Bonaventuriana. Universidad de San Buenaventura Cali; 2014.
5. Van Gerpen, J., Biodiesel processing and production. Fuel Processing Technology. National Renewable Energy Laboratory. EUA. 106 pp; 2005.
6. Polich, N., Glicerol, Residuo de la Producción de Biodiesel: Posibles Alternativas como Materia Prima para Productos de Mayor Valor Agregado. Universidad Nacional del Litoral. UNL; 2019.
7. Gupta, A., Handbook of Environmental and Sustainable Finance. Elsevier; 2016.
8. Torroba, A., Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA; 2020.
9. Posada, J., Cardona, C., Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la obtención de biodiesel. Revista de la Facultad de Ciencias. Universidad Javeriana, 14, pp 9-27; 2010.
10. DIRECTIVA (UE) del Parlamento Europeo y del Consejo. Fomento del uso de Energía procedente de fuentes renovables. Diario Oficial de la Unión Europea; 2018.



11. Castelar, G., Angulo, E., Cardozo, B., Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. Prospect, 12, pp. 90-104; 2014.
12. García, M., Gandón, J., Maqueira, Y., Estudio de la Obtención de Biodiesel a partir de Aceite Comestible Usado. Tecnología Química. RTQ; 2013.
13. Nimcevic, D., Puntigam, R., Worgetter, M. Gapes, R., Preparation of rapseed oil esters of lower aliphatic alcohols. Journal of Oil & Fat Industries. JAOCS 77, pp 275-280; 2000.
14. Fangrui, M., Biodiesel Production: a review. Bioresource Technology. Vol 70, pp 1-15; 1999.
15. Cabello, C., Rincón, S., Zepeda, A., Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel. Universidad Autónoma de Yucatán, ITM; 2016
16. Soltani, S., Rashid, U., Al-Resayes, S., Clean Energy for sustainable Development. Academic Press-Elsevier; 2017.
17. Van Gerpen, S., Biodiesel production technology. National Renewable Energy Laboratory. NREL; 2004.
18. Gobierno de México. Impulsa Sagarpa Producción de Biocombustibles en México. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural; 2017.
19. Dimian, A., Bildea, C., Chemical Process Design: Computer-Aided Case Studies. John Wiley & Sons; 2008.
20. Varanda, G., Pinto G., Martins, F., Life cycle analysis of biodiesel production. Fuel and Energy Abstracts.; 2011.
21. Ordóñez, C., Mejía, C., Afanador, G., Ariza, C., Valoración de energía digestible de la glicerina cruda proveniente de aceite de palma -*Elaeis guineensis*- para cerdos en crecimiento en función del nivel de almidón de maíz en la dieta. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 64(2), 52-69; 2017.
22. Betancourt, A., de Mello, R., Castellanos, L., Silva, C., Review Glycerin as by Product of Biodiesel Production, its Characteristics, Applications and Soil Use. Ministerio de Educación Superior. INCA; 10.13140/RG.2.1.4329.2403.; 2016.
23. Tan, H., Abdul, A., Aroua, M., Glycerol Production and its Applications as a Raw Material: a Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews; 2013.
24. SRS International Biodiesel. Glycerin purification. Engineering corporation; 2016.



25. Yazdani, S., González, R., Anaerobic Fermentation of Glicerol: a Path to Economic Viability for the Biofuels Industry. Current Opinion in Biotechnology; 2007.
26. Posada, J., Cardona, C., Cetina, D., Bioglicerol como Materia Prima para la Obtención de Productos de Valor Agregado. Manizales: Artes Gráficas Tizan; pp. 103-127; 2009.
27. Nivia, A., Ramírez, A., Porras, C., Marentes, D., Glicerol: suplemento alimenticio y su respuesta en bovinos de leche. Agronomía Mesoamericana. Universidad de Costa Rica. Vol 31, 3; 2020.
28. Pinzón, C., Jiménez, R., Domínguez P., Gallegos, M., Herrera, E., Pámanes, G., Comportamiento productivo y perfil metabólico de becerros suplementados con glicerina cruda. Acta Universitaria, 30. SCIELO; 2020.
29. Vega, G., Vargas, F., Retore, M., Patricia, A., Lesmo, N., Velazquez, J., Alvarenga, J., Da Silva, M., Glicerol en el comportamiento productivo y características de la canal y carne de cabras : un metaanálisis. Re. Inv. Vet. Perú, 32, 3; 2021
30. Egea, M., Evaluación del Efecto del Glicerol, como Subproducto Derivado de la Producción del Biodiesel sobre la Calidad de la Canal y de la Carne en Diferentes Especies. Universidad de Murcia; 2015.
31. SENASICA. Estudio para determinar el Impacto Económico de la PPC en México. SENASICA; 2021.
32. Kijora, C., Bergner, H., Gotz, K. P., Bartelt, J., Szakacs, J., Sommer, A., Research note: investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls. Arch. Tierernahr.; 51:341-348; 1998.
33. Kijora C., Bergner H., Hagemann, K., Hagemann, L., Glycerol as a feed component in diets of fattening pigs. Archiv für Tierernaehrung.; 1995.
34. Lammers, P., Kerr, B., Weber, T., Bregendahl, K., Lonergan, S., Prusa, K., Ahn, D., Stoffregen, W., Dozier III, Honeyman, M., Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. American Society of Animal Science. ASAS.; 2008.
35. Della, G., Bochicchio, D., Faeti, V., Marchetto, G., Poletti, E., Rossi, A., Garavaldi, A., Panciroli, A., Brogna, N., Use of pure glicerol in fattening heavy pigs. Meat Science, 81, pp 238-244; 2009.



36. Schieck, S., Kerr, B., Baidoo, S., Shurson, G., Johnston, L., Use of crude Glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. American Society of Animal Science. ASAS. Doi: 10.2527/jas.2009-2609. 2010.
37. De Oliveira, P., Moreira, I., Nuñez, E., Piano, L., Toledo, J., Costa, C., Crude glycerine in diets for piglets. Revista Brasileira de Zootecnia.; ISSN 1806-9290; 2012.
38. N.R.C. Nutrient Requirement of Swine. 11th Edition. National Academy of Science. Washington D.C; 2012.
39. Noblet, J., Dounnad, J., Etienne, M., Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. Journal of Animal Science 68 562-572; 1990.
40. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. AOAC.; 1990.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

“Lo importante en la ciencia no es tanto obtener nuevos datos, sino descubrir nuevas formas de pensar sobre ellos”

William Lawrence Bragg



En el presente capítulo se describe el proceso de producción de la Glicerina Semipurificada, los materiales, equipo y reactivos empleados, así como la aplicación del producto obtenido en el pienso distribuido a los sujetos de prueba, los parámetros evaluados y la determinación del rendimiento que se llevó a cabo.

2.1 PRODUCCIÓN DE GLICERINA SEMIPURIFICADA

2.1.1 Materiales

El material utilizado fue proporcionado por el Laboratorio de Biocombustibles de la Facultad de Ingeniería Química. Se requirió de materiales de laboratorio como vasos de precipitado de 50, 100, 200 y 400 ml, termómetro de vidrio para inmersión parcial o total, graduado y con mercurio en su interior, una probeta graduada con capacidad de 1 L, 2 ollas de acero inoxidable con capacidad de 15 litros y un potenciómetro marca Conductronic para medir los valores de pH a lo largo del proceso. Para el manejo de los reactivos y la glicerina se empleó el equipo de protección adecuado, desde calzado cerrado, pantalones largos de tela gruesa, batas de laboratorio de algodón y guantes de uso industrial (*ver Figura 2.1*).

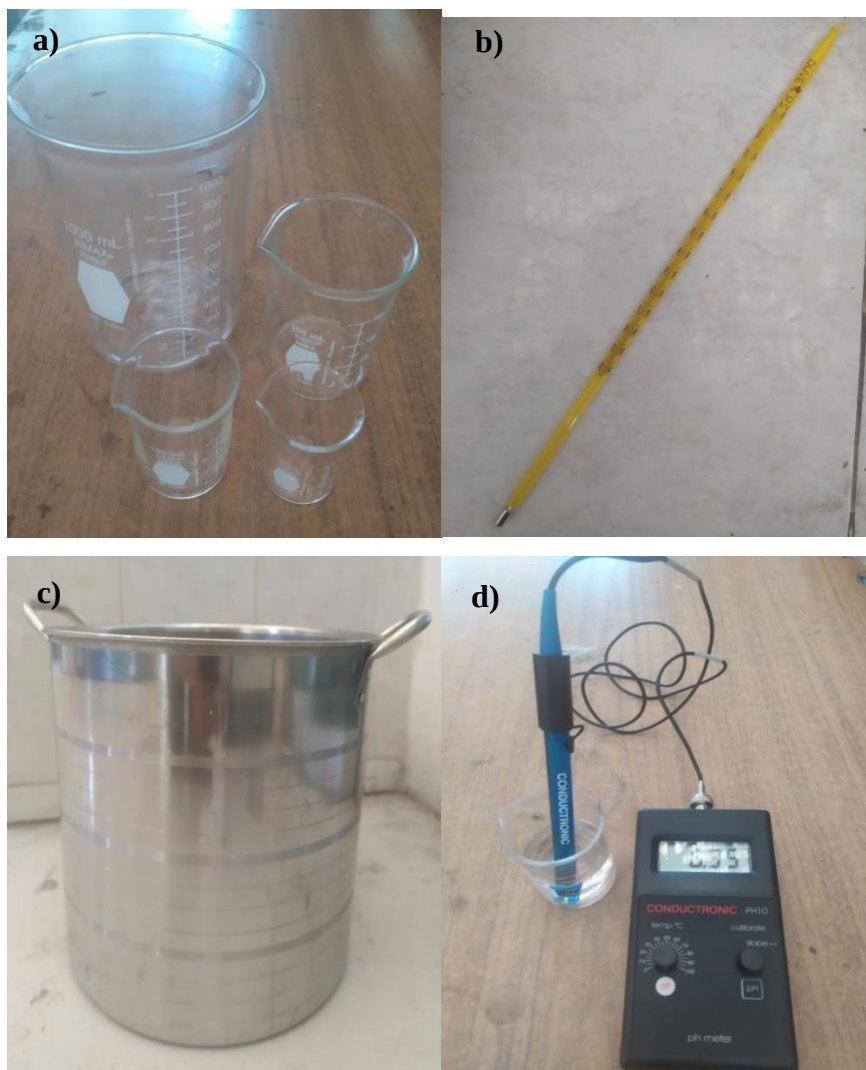


Figura 2.1. Materiales, a) vasos de precipitado, b) termómetro, c) olla de acero inoxidable, d) potenciómetro.

2.1.2 Equipo

Todo el equipo utilizado fue proporcionado por el Laboratorio de Biocombustibles de la Facultad de Ingeniería Química. El proceso de producción de Glicerina Semipurificada requiere de equipo para su adecuado proceso, así como de contar con las características necesarias para realizar cada etapa del proceso. Entre el equipo empleado, se cuenta con un tambo de plástico con tapa con capacidad de 120 litros, de 78 cm de alto y diámetro de 39 cm, con un peso aproximado de 4.5 kg y color azul marino. Se cuenta también con 2 contenedores con tapa de capacidad de 120 litros, de 70 cm de altura y diámetro de 56.9 cm, con un peso aproximado de 4.5 kg y color verde. Se emplearon también, dos parrillas

eléctricas de disco doble, con dimensiones de 22.5 x 45 x 6.5 cm, con un voltaje de 127 Voltios, 1000 watts y un peso aproximado de 2.6 kg.

Se utilizó 2 filtros metálicos para remoción de sólidos, con medidas de 45 cm de alto y capacidad de 25 litros, con un peso aproximado de 6 kg. Se utilizó también un embudo de uso pesado con capacidad de 192 onzas, con una boquilla de 8 $\frac{5}{8}$ " y 1 $\frac{5}{16}$ " y un embudo plástico con capacidad de 60 litros, con 2 salidas con válvulas de paso de bola, además de bidones plásticos con capacidad de 20 litros, 39.5 cm de altura, 29.5 cm de largo y 24.5 cm de ancho, con una boquilla de 4.85 cm de diámetro y un peso aproximado de 900 gramos (ver Figura 2.2).



Figura 2.2. Equipo, a) contenedores, b) parrillas eléctricas, c) filtro metálico, d) embudo de separación.



2.1.3 Producción

El proceso de producción de la Glicerina Semipurificada se llevó a cabo en el Laboratorio de Biocombustibles de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Para su realización, se utilizó como punto de partida la información obtenida de la patente con número MX/a/2022/012131, donde se describen 3 etapas, a nivel laboratorio, para su desarrollo:

1. Acidificación.
2. Separación de agentes lipídicas no deseados.
3. Purificación y aprovechamiento.

2.1.3.1 Proceso de acidificación

Para el proceso de acidificación se utilizó ácido sulfúrico al 98% de pureza marca DIVISA, Química y Asociados. Para realizar esta etapa, se utilizó la glicerina cruda y se agregó ácido sulfúrico hasta alcanzar un pH entre 5.6 y 5.8. (ver *Figura 2.3*).

El proceso de acidificación se llevó a cabo al comienzo del tratamiento de la Glicerina Cruda, en contenedores de 120 litros. Aquí, se depositó la glicerina cruda proveniente de la corriente de salida del proceso de producción de biodiesel, los cuales llegaron en bidones de 20 litros, con un pH que oscilaba entre 9 y 11, además de una consistencia parcialmente sólida a consecuencia de la presencia de las fuentes lipídicas que aún se encuentren presentes en el remanente. Para aquellos bidones en los que la Glicerina Cruda se solidificó, se colocó al sol durante un periodo entre 1 y 4 horas, donde favoreció la disolución de las grasas presentes, mejorando la consistencia para su vaciado en los tanques de almacenamiento

El ácido sulfúrico se suministró en partes de acuerdo con los requerimientos de cada lote. En el proceso, se midió constantemente el pH con ayuda del potenciómetro, para así determinar la cantidad aproximada que sería requerida para su acondicionamiento. Posteriormente, se homogenizó la mezcla por entre 10 y 20 minutos para después dejar en reposo por dos horas, antes de tomar nuevamente la medida de pH y determinar si se requería más ácido sulfúrico (ver *Figura 2.4*).

El mezclado, debido a la cantidad de Glicerina Cruda que se trató, se llevó a cabo mediante un taladro y una punta grande para agitación, de manera que fuera posible controlar la profundidad, velocidad y tiempo en que se homogenizaba la mezcla.



Figura 2.3. Ácido sulfúrico al 98%. a) contenedor, b) ficha técnica.

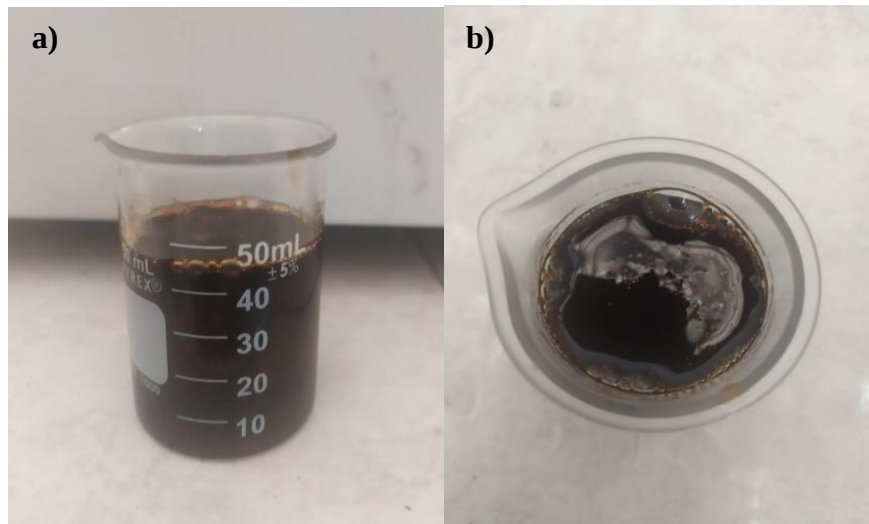


Figura 2.4. Glicerina Acidificada, a) vista frontal, b) vista superior.

2.1.3.2 Proceso de calentamiento

La etapa de calentamiento se realizó para separar la glicerina de ácidos grasos libres, jabones y otros contaminantes. Esto se realizó calentando la muestra hasta 87 °C, una vez alcanzada la temperatura se mantuvo durante 90 minutos para finalmente proceder a filtrar para la eliminación de sales y compuestos sedimentados. Este proceso se llevó a cabo posterior a la acidificación de la glicerina cruda, empleando dos parrillas eléctricas de disco doble y dos ollas de acero inoxidable, donde se suministraron lotes de 10 litros de Glicerina Acidificada, las cuales se colocaron sobre ambos discos de las parrillas eléctricas

correspondientes y permanecieron allí hasta alcanzar una temperatura de 87°C , donde se reguló la temperatura por 90 minutos para mantener los 87°C estables, con lo que se logró la separación de los componentes lipídicos presentes y la evaporación de alcoholes presentes. Se monitoreó constantemente la temperatura, con ayuda del termómetro de vidrio graduado, y se manipuló esta misma con ayuda de los reguladores presentes en cada parrilla eléctrica (ver Figura 2.5).

Una vez alcanzado el tiempo determinado, se apagaron las parrillas eléctricas y se retiraron las ollas de acero inoxidable, donde se dejaron reposar 15 minutos y, posteriormente, fueron llevadas a la siguiente etapa del proceso.



Figura 2.5. Proceso de calentamiento, a) inicio del proceso, b) separación de componentes.

2.1.3.3 Proceso de filtrado

Para el proceso de filtrado se utilizó un filtro metálico, donde se suministraron los contenidos en las ollas de acero inoxidable, con lo que el paso de la solución a través de la membrana se favorece mientras que las características del filtro permiten su uso en dichas temperaturas, llegando al contenedor correspondiente, mientras que los sólidos se mantienen en el filtro.

Cuando la cantidad de sólidos removidos cubren la superficie del filtro, el paso del líquido se ve comprometido, por lo que es necesario emplear una pala metálica mezcladora que permita mover la superficie del filtro para permitir el adecuado paso y escurrimiento del

contenido, además de contar con un tiempo para favorecer que los sólidos cuenten con la menor humedad posible (ver *Figura 2.6*).

Al final de cada lote de filtración, se removieron los sólidos remanentes y se colocaron como residuo, correspondiendo a las sales presentes en la glicerina cruda, así como cualquier otro posible sólido remanente proveniente del proceso de producción de Biodiésel. Cada 5 rondas de filtración, se llevó a cabo la limpieza adecuada del filtro, con la finalidad de remover completamente los sólidos que queden atrapados dentro de la malla y favorecer así, el proceso de filtrado para futuras ocasiones, así como intercalar el proceso con el segundo filtro metálico para mantener, en lo posible, la continuidad del proceso.

Posterior al filtrado, la Glicerina del proceso permaneció dentro del contenedor correspondiente hasta alcanzar nuevamente una temperatura ambiente, que oscila los 25°C, antes de ser llevado a la siguiente etapa.



Figura 2.6. Proceso de filtrado

2.1.3.4 Separación de agentes lipídicos no deseados

El proceso de separación se llevó a cabo una vez alcanzada la temperatura adecuada en la etapa de filtración, donde la Glicerina Filtrada se transportó, de forma manual, hasta el embudo de decantación. La separación se realizó en un embudo de separación de capacidad de 60 litros, la muestra se agregó una vez eliminadas las sales y permaneció por un lapso de 24 horas para permitir la adecuada separación. En la parte inferior se obtuvo GS y en la parte superior el producto denominado ácidos grasos libres.

Las 24 horas comenzaron a contabilizarse una vez completado el lote de 60 litros, de manera que la admisión de cada lote, y el mezclado que implica, no altere al proceso de separación por diferencia de densidades. Una vez completado el tiempo, se procede al proceso de separación, donde con ayuda de las válvulas de bola colocadas en la parte inferior, se permitirá el paso de los productos obtenidos. Primero, se recupera la Glicerina Semipurificada en bidones con capacidad de 20 litros, donde se empleó un embudo para permitir la recepción del producto con el mínimo de pérdidas. La Glicerina Semipurificada tiene un color notablemente más claro, gradualmente, la Glicerina Semipurificada pasa a ganar un tono más oscuro, con lo que se puede prever que se acerca la fase compuesta por Ácidos Grasos. La obtención de Ácidos Grasos es notable, dada un característico color opaco y una consistencia espesa, por lo que se procede a cerrar las llaves de paso y a cambiar los bidones que contendrán el producto para no mezclarlos. Una vez se obtienen los productos que se encuentran a disposición de la válvula superior, se procede a obtener los productos en la zona inferior, los cuales comprenden Glicerina Semipurificada y se agregan al contenedor correspondiente para completar la obtención (*ver Figura 2.7*).



Figura 2.7. Proceso de separación, a) embudo de separación, b) obtención de productos.

2.1.3.5 Proceso de almacenamiento

Una vez que se obtuvo la Glicerina Semipurificada y el subproducto denominado como Ácidos Grasos, estos son transportados en los bidones de plástico de capacidad de 20



litros. Cada bidón es rotulado con el nombre del producto que contiene y la fecha en que se almacena, con la finalidad de identificar cada uno en el área de almacenamiento.

Los bidones permanecieron en un área a temperatura ambiente, sin humedad, donde no reciben la luz directa del sol y de fácil acceso, para monitorear constantemente su integridad, así como atender y solucionar posibles alteraciones, como puede ser la alteración en la integridad de algún bidón debido al peso o desgaste.

A lo largo del proceso se cuantificaron los tiempos y la cantidad de reactivo suministrado para cada lote de producción, con lo que se estandarizó el proceso y permitió evaluar el rendimiento de la producción, así como llevar a cabo un balance de materia.

2.2 INCLUSIÓN DE LA GLICERINA EN LA ALIMENTACIÓN PORCINA

Se suministró un 2% de Glicerina Semipurificada al pienso debido a que el proceso de semipurificación aumentó el contenido de glicerol presente. Además, se realizaron previamente pruebas de palatabilidad que permitieran ajustar la concentración de GS presente en el pienso. Junto con esto, se tomaron en cuenta datos como el ajuste con el presupuesto actual del productor, así como el mimetizar el efecto calórico del aceite vegetal empleado en la dieta del grupo control. La dieta se ajustó para ser isocalórica según NRC 2000 [1], ajustándose a los requerimientos de energía, proteína metabolizable, calcio, fósforo y fibra efectiva al mínimo costo posible.

2.3 ANIMALES, DIETA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Se trabajó con un total de 60 hembras gestantes (N=60) de la raza Landrace x Duroc, provenientes de la Finca Santa Rosa (Puebla, México). De manera aleatoria, se seleccionaron cerdas gestantes a partir de una semana de gestación y se asignaron al grupo control (CONTROL, n=30) o Glicerina Semipurificada al 2% (GS2%, n=30). Para el grupo GS2% la GS se suministró en una concentración del 2% por cada tonelada de alimento a la mezcladora, junto con los demás componentes que conformaron el pienso (maíz, almidón, salvado de trigo, soya extrusada, harina de arroz, pastel de soya, sal, bicarbonato de sodio, carbonato de calcio, fosfato monocalcio, pre-mezcla de vitaminas y minerales, etc.), mientras que para el grupo de control ese 2% fue cubierto con Aceite Vegetal. Las dietas fueron formuladas para ser isoenergéticas e isoaminoácidas, se realizó la tabla correspondiente a la composición de la dieta y se analizó la composición de la glicerina cruda



para determinar su factibilidad como complemento alimenticio. Las variables se realizaron por triplicado y se determinaron según AOAC [2]. Se realizaron los análisis correspondientes para determinar Proteína Bruta (PC) (%), Calcio (Ca) (%), Fósforo Disponible (%), Energía Metabolizable (Kcal/kg), Fibra Bruta (CF) (%), Extracto de Éter (EE)(%), Lisina Digestible (DL) (%), Almidón (%), Equilibrio de Electrolitos (%), valores que se presentan en la composición del pienso en el capítulo 3, tabla 3.5.

El pienso, ya sea para el grupo de control o el grupo de glicerina semipurificada al 2%, fue suministrado mediante el uso de comederos, donde se colocaron 20 kilogramos de pienso por semana y, mediante una sustracción entre el alimento dispuesto y el alimento consumido, se determinó el total del alimento que fue ingerido por el sujeto de prueba.

2.3.1 Determinación de parámetros en cerdas gestantes

Al evaluar la eficiencia de la Glicerina Semipurificada como componente en la alimentación porcina se utilizaron parámetros de rendimiento que permitieran comparar el desarrollo obtenido por la población correspondiente al grupo de control (CONTROL, n=30) y la población correspondiente al grupo de Glicerina Semipurificada al 2% (GS2%, n=30), de tal forma que se evaluaron los valores de ADG, ADFI y F:G

Para determinar el promedio de ganancia diaria, (ADG, por sus siglas en inglés, Average Daily Gain) de peso en el intervalo de la gestación temprana y la gestación tardía, se tomó el peso en Kg de las cerdas a los 35 y 85 días y se empleó la siguiente fórmula:

$$\frac{Kg\ GT - Kg\ Gt}{50} = ADG$$

Donde Kg GT corresponde al peso en Kg en la gestación tardía y Kg Gt corresponde al peso en Kg en la gestación temprana.

Para la toma de peso en la gestación temprana, se dejaron pasar 35 días desde el momento en que se comienza el proceso de fecundación, de manera que se pueda asegurar que existe una fecundación exitosa, mientras que el peso en la gestación tardía se toma a los 85 días, ya que como máximo se estiman 3 meses, 3 semanas y 3 días como periodo de gestación en cerdas.

El promedio de consumo de alimento diario (ADFI, por sus siglas en inglés, Average Daily Feed Intake) correspondió al alimento diario consumido en promedio, por lo que se



empleó el valor correspondiente a la ingesta semanal, como se aprecia en la siguiente formula:

$$\frac{CS \text{ Kg}}{7} = ADFI$$

Donde CS Kg corresponde al peso en Kg del Consumo Semanal por cerda.

El consumo semanal se determinó mediante una sustracción entre el pienso a disposición para el animal (20 Kg) y el alimento consumido, obteniendo así el valor correspondiente a CS Kg. Permitir que los sujetos de prueba tengan al alcance el pienso en todo momento favorece a la ganancia de peso, así como favorecer que el estrés en las cerdas gestantes no se vea afectado a consecuencia de la disposición de alimento.

La eficiencia alimenticia (F:G, Feed:Gain) fue obtenido relacionando los valores de ADFI y ADG según se aprecia a continuación:

$$\frac{ADFI}{ADG} = F:G$$

La relación entre ADFI y ADG presente en esta fórmula corresponde a la cantidad de alimento consumido por el sujeto de prueba, en kilogramos, con relación a la ganancia de peso, también en kilogramos, por lo que el valor de F:G se obtuvo como un dato adimensional.

Los valores de ADFI y ADG por cerda se concentraron en tablas generadas para facilitar su manejo, empleando hojas de cálculo que permitan manipular datos numéricos, así como el uso de un programa estadístico como GraphPAD 8.

Estas fórmulas se emplearon tanto para el grupo CONTROL como para el grupo GS2%, los valores fueron medidos en conjunto con los datos de supervivencia de camada, como son el número de lechones vivos, lechones muertos y el número de momias. También se evaluaron los valores de peso y condición corporales durante la gestación temprana y tardía.

2.3.2 Determinación de rendimiento y supervivencia de los lechones

En producción porcina se denomina como lechón a la cría proveniente de cerdas gestantes, en un periodo que va desde el nacimiento hasta la edad de engorda, caracterizando a estos miembros por su bajo peso, necesidad de alimento (leche) de fácil digestión y de desarrollo de aptitudes de adaptación [3]. Para determinar la supervivencia de los lechones



se considerarán tres categorías: lechones vivos, lechones muertos y momias. Se consideran como lechones vivos a aquellos lechones resultantes del parto, que muestren signos vitales y se integren con la camada, los lechones muertos son aquellos que fallecen antes o durante el parto. Comúnmente, se reconocen por estar rodeados por envolturas fetales, con los tejidos friables, en ocasiones con descomposición presente y las pezuñas cubiertas por una piel amarillenta, típicamente fallecen días antes del parto. Las momias son lechones que mueren antes del parto, posterior al desarrollo y calcificación del tejido óseo, entre los 30 y 40 días de gestación.

Es importante destacar que los lechones no consumieron la dieta formulada, ni del grupo control ni del grupo CS2%, sino que fueron las cerdas lactantes quienes mantuvieron la alimentación de acuerdo con el grupo al que pertenecían durante la gestación.

Para los lechones vivos se utilizó el promedio de ganancia diario de peso, ADG, en el intervalo que va desde 24 horas posteriores al parto hasta el destete, con un intervalo de 4 h entre la ingesta de leche y la toma de peso, debido a los efectos laxantes del calostro, permitiendo obtener datos más certeros y disminuir la probabilidad de sesgo estadístico. Para este dato, se empleó la siguiente fórmula:

$$\frac{Kg\ dt - Kg24}{21} = ADG$$

Donde Kg dt corresponde al peso en Kg al momento del destete y Kg24 corresponde al peso en Kg a las 24 horas del parto.

El promedio de consumo de alimento diario, ADFI, se tomó considerando la leche que fue ingerida por el lechón mediante una sustracción entre el peso reportado posterior al tiempo de alimentación y el peso reportado previo al consumo, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Kg\ PP - Kg\ Pp = ADFI$$

Donde Kg PP corresponde al peso en Kg reportado posterior a la ingesta de leche y Kg Pp corresponde al peso en Kg previo a la ingesta de leche. Esta sustracción permite calcular la cantidad de leche que fue consumida por el lechón.

La eficiencia alimenticia, F:G, se midió con el aumento de peso corporal en relación a la ración de leche consumida como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\frac{ADFI}{ADG} = F:G$$

La relación entre ADFI y ADG presente en esta fórmula corresponde a la cantidad de leche consumida por el sujeto de prueba, en kilogramos, con relación a la ganancia de peso, también en kilogramos, por lo que el valor de F:G se obtuvo como un dato adimensional.

Los valores de ADFI y ADG por lechón se concentraron en tablas generadas para facilitar su manejo, empleando hojas de cálculo que permitan manipular datos numéricos, así como el uso de un programa estadístico como GraphPAD 8, el cual permitió generar los gráficos necesarios para la interpretación adecuada de datos.

2.3.3 Determinación de condición corporal

La condición corporal es un parámetro subjetivo eficaz para determinar el volumen del cerdo de acuerdo con sus proporciones. Se empleó una escala que va de 1-5, donde 1 representó a cerdas muy delgadas y 5 muy engrasadas, siendo 3 el valor óptimo [4].

Para el presente proyecto se utilizó una valoración subjetiva empleando el diámetro torácico y el peso reportado (ver *Figura 2.8*).

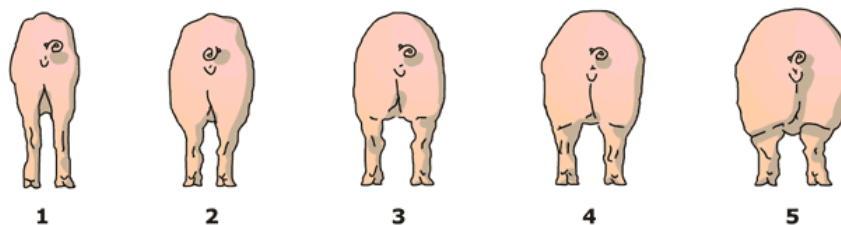


Figura 2.8. Valoración subjetiva de condición corporal.

2.4 DISTRIBUCIÓN DE LA GRANJA

Dentro de una granja porcina debe existir una distribución que obedezca a un orden lógico según la etapa en que se encuentre un cerdo como: gestación, lactancia, fase de inicio (15-30kg), crecimiento (30-60kg), desarrollo (60-80kg) y finalización (80-110kg). Debido a que cada etapa requiere diferentes aportes energéticos y atenciones.

A continuación, se presenta un diagrama representativo del área de maternidad donde se trabajó (ver *Figura 2.9*).

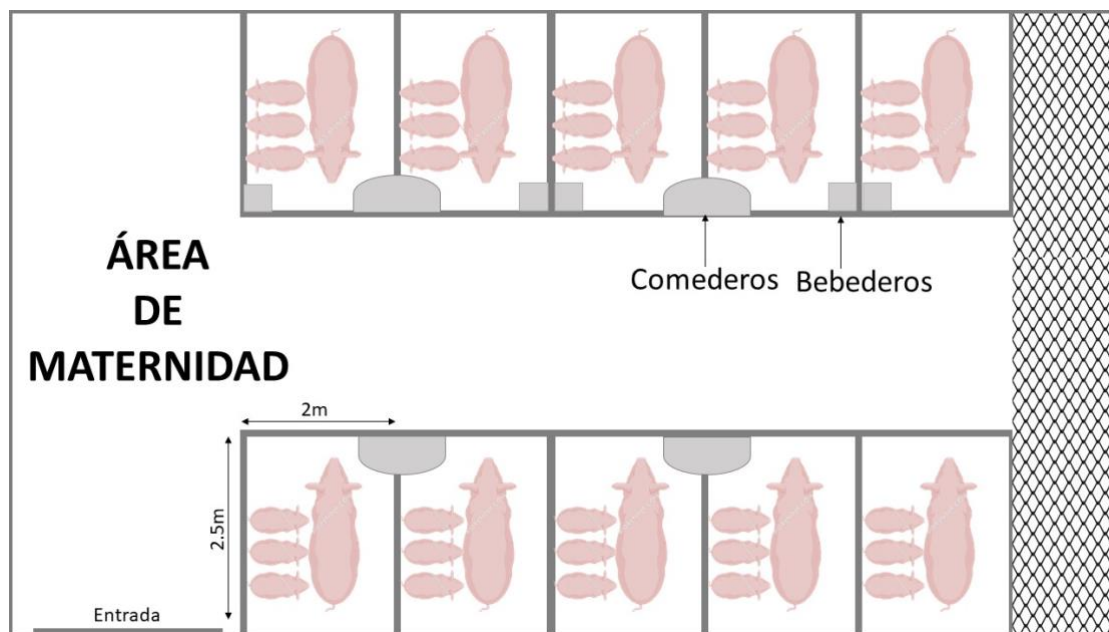


Figura 2.9. Distribución del área de maternidad de la granja porcina.

Las cerdas gestantes y lactantes se encontraron separadas, en corrales de 5m^2 /cerda, para evitar incidentes o daños, tanto para las cerdas como para los lechones, además de facilitar así la distribución y aprovechamiento del pienso suministrado.

2.5 Bibliografía

1. Pereyra, F., Olivera, R., National Research Council. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academic Press. UDELAR; 2010.
2. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. AOAC.; 1990.
3. Sánchez, M., Producción Animal e Higiene Veterinaria. Universidad de Córdoba; 2008.
4. Valenzuela, O., Evaluación de la Grasa Dorsal de la Cerda y su Efecto sobre Variables Productivas. Área de Conocimientos de Ciencias Agropecuarias. UABCS. pp 22.; 2017.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

“La satisfacción radica en el esfuerzo, no en el logro. El esfuerzo total es una victoria completa.”

Mahatma Gandhi

En el presente capítulo se presenta, el DFP, el balance de materia y el diagrama de bloques correspondiente al proceso de producción de Glicerina Semipurificada a nivel planta piloto, así como el rendimiento obtenido tanto para las cerdas gestantes como para los lechones.

3.1 DFP Y DIAGRAMA DE BLOQUES

El Diagrama de Flujo del Proceso (DFP) desarrollado con la filosofía de proceso que se llevó a cabo se muestra en la *Figura 3.1* y en la Tabla 3.1 se muestra la información correspondiente a las corrientes que fueron empleadas. De acuerdo con la patente con número MX/a/2022/012131 el proceso involucra 3 etapas para su desarrollo:

- Acidificación.
- Separación de agentes lipídicas no deseados.
- Purificación y aprovechamiento.

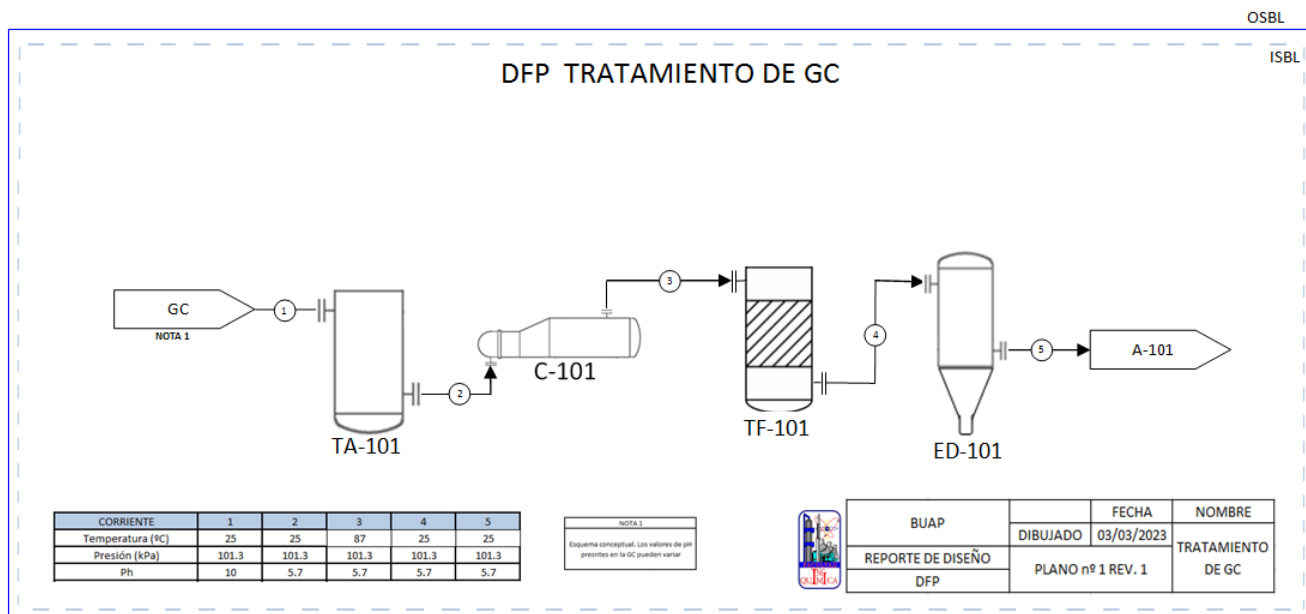


Figura 3.1. DFP del proceso de semipurificación de GC

Tabla 3.1 Características de las corrientes durante el proceso de semipurificación.

CORRIENTE	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	25	25	87	25	25
Presión (kPa)	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3
pH	9-11	5.6-5.8	5.6-5.8	5.6-5.8	5.6-5.8

El presente diagrama de bloques (ver *Figura 3.2*) corresponde al proceso realizado para la semipurificación de la Glicerina Cruda, de manera que se pueden apreciar las etapas y las principales características de las corrientes involucradas.

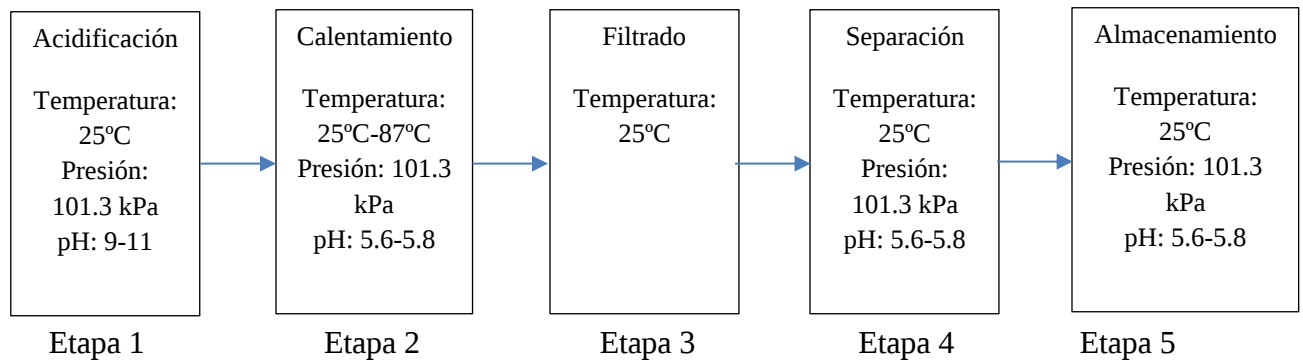


Figura 3.2. Diagrama de bloques del proceso de producción de GS

La simbología correspondiente a la empleada en el DFP, así como una descripción breve de cada componente y su símbolo empleado se encuentra en la sección de anexos (ver Tabla a.1).

3.2 PROCESO DE SEMIPURIFICACIÓN

En este apartado se menciona la composición de la Glicerina Cruda, las características de la Glicerina, el subproducto durante el proceso y el rendimiento obtenido para la generación de Glicerina Semipurificada.

3.2.1 Composición de la Glicerina

La composición de la Glicerina se determinó mediante pruebas de cromatografía realizadas por un laboratorio externo, reportadas en un informe de ensayo, el cual se presenta en una tabla en la sección de Anexos (ver Tabla a.2).

En esta prueba se determina el contenido energético de la Glicerina Cruda en 333.5 kcal/100g, en comparación, el aceite de soya cuenta con un aporte energético de 886 kcal/100g, es decir, 2.65 veces más que la glicerina cruda.

Con estos datos, de acuerdo con el NRC 2012 [1] se puede apreciar que la glicerina cruda es un excelente componente con aporte energético aplicable a la alimentación del ganado, por lo que el proceso de semipurificación favorecerá su uso en el mismo al aumentar la concentración de glicerol y disminuir notablemente los contaminantes presentes.

3.2.2 Verificación de las características de la Glicerina durante el proceso.

La Glicerina Cruda utilizada en este proyecto presentó características variables, debido a la calidad y naturaleza de la materia prima utilizada. Aun así, se pueden resaltar ciertas características descritas en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Características de la glicerina durante el proceso.

CARACTERISTICAS DE LA GLICERINA DURANTE EL PROCESO				
GLICERINA CRUDA	GLICERINA ACIDIFICADA	SALES FILTRADAS	GLICERINA SEMIPURIFICADA	ÁCIDOS GRASOS
Su consistencia es sólida, dada la presencia de agentes lipídicos como el ácido esteárico que, a temperatura ambiente, es sólido.	pH en el intervalo de 5.6 - 5.8	Puede presentar una capa líquida de glicerina o ácidos grasos retenidos.	Presenta una tonalidad café oscuro, pero en caudales pequeños se puede distinguir un tono amarillo oscuro translucido.	Presenta una tonalidad oscura, su presencia en el separador se puede prever por finas líneas de color oscuro presentes en la corriente de salida.
Posee un olor característico, similar al biodiesel	Su consistencia debe ser líquida y fácilmente manejable una vez que se alcanza el pH mencionado en el punto 1.	Cuenta con olor característico.	Su pH va de 5.6 – 5.8	Posee un olor característico.

Al tacto es grasoso, además de ser un agente corrosivo, por lo cual puede presentar irritación por contacto prolongado.	Presenta un sutil aroma a azufre, debido al ácido sulfúrico agregado.	En caso de estar en contacto prolongado con una superficie caliente, se libera un aroma característico.	Cuenta con un aroma ligeramente más dulce, característico.	Presenta una facilidad para retenerse en las superficies, por ejemplo, en los laterales de los contenedores.
	Su textura es grasosa y viscosa, además de ser un agente corrosivo, por lo cual se puede presentar irritación por contacto prolongado.			Presenta una mayor viscosidad que la Glicerina Semipurificada.
	Conforme se incrementa la cantidad de ácido sulfúrico presente, la solución adquiere un tono cada vez más rojizo.			

La Glicerina Cruda, Glicerina Acidificada, Sales Filtradas, Glicerina Semipurificada y Ácidos Grasos se pueden apreciar en la *Figura 3.3*.

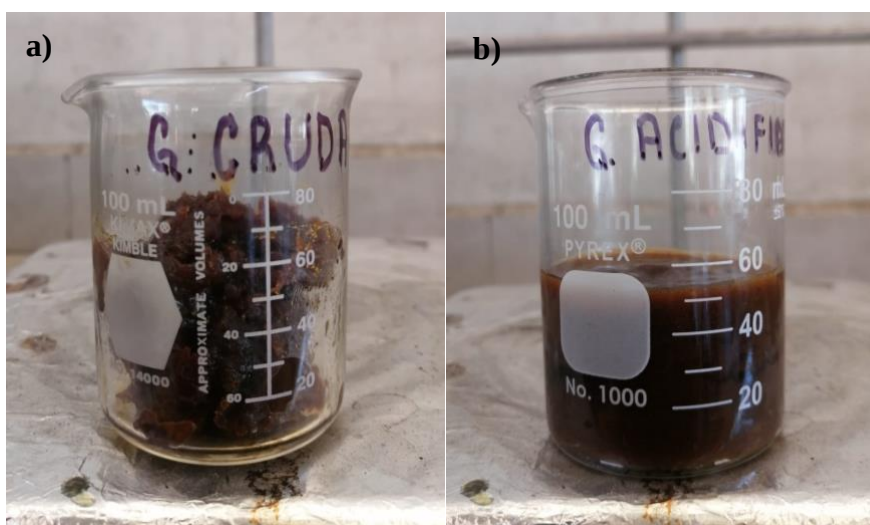




Figura 3.3. a) Glicerina Cruda, b) Glicerina Acidificada, c) Sales Filtradas, d) Glicerina Semipurificada y e) Ácidos Grasos.

El cambio de la Glicerina durante el proceso de producción, así como los subproductos generados, se pueden apreciar a continuación (ver *Figura 3.4*).



Figura 3.4. Glicerina y subproductos del proceso

3.2.3 Rendimiento del proceso

La evaluación del rendimiento del proceso de producción de Glicerina Semipurificada se realizó por triplicado con lotes de Glicerina Cruda de 100 litros, reportándose el valor promedio.

A continuación, se presenta la tabla correspondiente a los datos promedio del proceso de acidificación (ver Tabla 3.3), la tabla correspondiente a los datos promedio del proceso de calentamiento y separación, (ver Tabla 3.4 y Tabla 3.5).

Tabla 3.3. Promedio del proceso de acidificación

H₂SO₄ TOTAL (ml)	1460
Días de preparación	4.66
pH final	5.71

Tabla 3.4. Promedio del proceso de Calentamiento

Litros producidos	300
Tiempo promedio (min)	90
Temperatura promedio (°C)	87

Tabla 3.5. Promedio del proceso de separación.

PARAMETRO	GLICERINA SEMIPURIFICADA	ÁCIDOS GRASOS
LITROS OBTENIDOS TOTALES	183.5	116.5
PROMEDIO OBTENIDO POR LOTE	61.1667	38.8333
PORCENTAJE OBTENIDO TOTAL (%)	61.17	38.83
PORCENTAJE OBTENIDO POR LOTE (%)	61.17	38.83

El proceso de separación permitió evaluar la cantidad de producto (GS) y subproducto (AG) que se obtuvieron por cada lote trabajado y de manera general. Es importante mencionar que esta etapa es un proceso físico en su totalidad, por lo que no se suministró ningún tipo de reactivo para ser llevado a cabo.

3.2.4 Balance de materia

El balance de materia correspondiente al proceso de producción de Glicerina Semipurificada se encuentra a continuación (ver Figura 3.5)

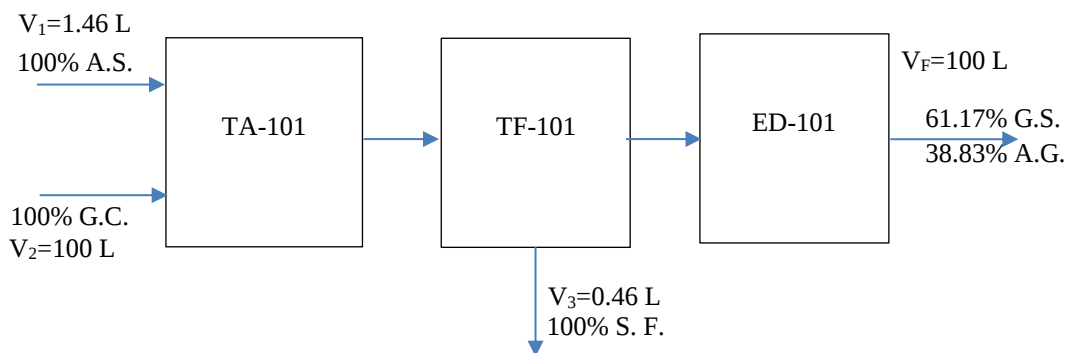


Figura 3.5. Balance de materia del proceso de producción de GS

En el proceso las entradas corresponden a 100 litros de G.C. y 1.46 litros de Ácido Sulfúrico, las salidas se comprenden de 0.46 litros de Sales Filtradas y 100 litros del producto, correspondientes en un 61.17% a G.S. y 38.83% a Ácidos Grasos (61.17 y 38.83 litros, respectivamente). Se estima que 1 litro de la mezcla del TA-101 se consume debido al proceso de calentamiento y las reacciones presentes a la generación de sulfatos, por lo que $C=1$ litro.

La GS y los AG fueron contabilizados al momento de su obtención desde el embudo de separación, mediante bidones graduados y un control de las válvulas de salida para limitar el paso no deseado. Como se puede apreciar, la obtención de Glicerina Semipurificada promedio alcanzó el 61.17%

La evaluación del rendimiento en el proceso de calentamiento permitió determinar las condiciones óptimas de manejo. Es en esta etapa del proceso que se genera un consumo,

mismo que se ha comentado en el balance de materia y que se puede apreciar en la obtención final de producto y subproducto.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DE GLICERINA SEMIPURIFICADA EN CERDAS GESTANTES

Se determinó una concentración de 2% de Glicerina Semipurificada agregada al pienso que fue suministrado para cerdas gestantes y cerdas lactantes de acuerdo con la relación del contenido energético del aceite de soya y el contenido energético de la glicerina, buscando la similitud al aceite que comúnmente es suministrado y formulando dietas isocalóricas e isoenergéticas de acuerdo con la AOAC, de manera que se pueda mantener el valor nutricional y aporte energético en los sujetos de prueba [2]. El pienso elaborado con Glicerina Semipurificada se puede apreciar a continuación (*ver Figura 3.6*)



Figura 3.6. Pienso con Glicerina Semipurificada

3.3.1 Composición del pienso

Se presenta la composición del pienso suministrado, tanto para el grupo de control como para el grupo GS2%. Se indican los ingredientes presentes en el pienso final suministrado a los sujetos de prueba, así como la composición calculada para cada uno de los piensos realizados (*ver Tabla 3.6*).

Tabla 3.6. Composición de la dieta.

Dieta				
CERDAS GESTANTES			CERDAS LACTANTES	
INGREDIENTE	Control	GS2%	Control	GS2%
	%	%	%	%
Maíz	48.93	48.93	48.93	48.93
Almidón	10	10	10	10
Salvado de trigo	2	2	2	2
Soya extrusada	5.81	5.81	5.81	5.81
Harina de arroz	4.9	4.9	4.9	4.9
Glicerina semipurificada	0	2	0	2.5
Aceite de Soya	1.32	0	1.65	0
Pasta de soya	22.27	21.59	21.94	21.09
sal	0.3	0.3	0.3	0.3
Bicarbonato de sodio	0.59	0.59	0.59	0.59
Carbonato de calcio	0.58	0.58	0.58	0.58
Fosfato monodicalcio	1.99	1.99	1.99	1.99
DL-Metionina	0.07	0.07	0.07	0.07
L-Lisina H CL	0.34	0.34	0.34	0.34
L-Treonina	0.13	0.13	0.13	0.13
Colina	0.07	0.07	0.07	0.07
Pre-mezcla de vitaminas y minerales	0.7	0.7	0.7	0.7
Composición Calculada				
PC (Proteína Cruda) (%)	19.24	19.24	19.24	19.24
Ca (Calcio) (%)	0.72	0.72	0.72	0.72
FD (Fósforo Disponible) (%)	0.4	0.4	0.4	0.4
EM (Energía Metabolizable) (Kcal/kg)	3236	3236	3236	3236
FC (Fibra Cruda) (%)	2.67	2.67	2.67	2.67
EE (Extracto de Éter) (%)	3.84	3.84	3.84	3.84
EE (Equilibrio de Electrolitos)(%)	3873	3873	3873	3873

LD (Lisina Digestible) (%)	1.145	1.145	1.145	1.145
Almidón (%)	42.26	42.26	42.26	42.26
EB (Energía Bruta) (Kcal/Kg)	3873	3873	3873	3873

En la dieta formulada se busca mimetizar el efecto de la dieta estándar del productor con la implementación de la glicerina semipurificada, de tal manera que el aporte energético que brinde la GS se pueda asemejar con el aporte obtenido por el aceite de Soya. Junto con esto, la formulación isoenergética según la AOAC [2] favorece el aprovechamiento de los nutrientes sin afectar a los sujetos de prueba que la ingieren.

La composición calculada para el grupo control y el grupo GS2% resulta concordante con lo reportado por Pinzón y col. [3] al regular los aportes energéticos y nutrimentales de tal manera que la adición de compuestos glucogénicos no afecte el aporte energético que los animales son capaces de recibir. En la sección de Anexos (ver Tabla a.3) se encuentra el aporte energético del aceite Vegetal.

3.4 BALANCE ECONÓMICO

A continuación, se muestra la comparación de costos entre la dieta estándar y la dieta con GS 2% (ver Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Balance económico por tonelada, grupo control y grupo GS2%

INGREDIENTES	PRECIO POR KG	GESTACIÓN	TOTAL	LACTANCIA	TOTAL	GESTACIÓN GS2%	TOTAL	LACTANCIA GS2%	TOTAL
Sorgo	\$8.30	590kg	\$4,897	610kg	\$5063	590kg	\$4897	610 kg	\$5063
Soya	\$12.90	175kg	\$2,257.5	250kg	\$3225	175kg	\$2257.5	250 kg	\$3225
Salvado	\$6.60	180kg	\$1,188	80kg	\$528	180kg	\$1188	80 kg	\$528
Aceite	\$ 45	13.2kg	\$594	16.5kg	\$742.5	-	-	-	-
Glicerina Semipurificada	\$20	-	-	-	-	13.2kg	\$264	16.5 kg	\$330
Núcleo	\$34.5	35kg	\$1207.5	35kg	\$1207.5	35kg	\$1207.5	35 kg	\$1207.5
Varios	\$30	6.8	\$204	8.5kg	\$255	6.8kg	\$204	8.5 kg	\$255
Total			\$10,347.5		\$11,021		\$10,017.5		\$10,608

El balance económico permite apreciar una disminución en los gastos de alimentación al emplear GS comparados con el aceite de Soya.

Es importante mencionar las visibles ventajas de implementar la GS en la dieta de cerdos, pues cuando estos datos son extrapolados a una granja a nivel industrial que llega a alimentar a miles de cerdos al día, la diferencia económica es aún más evidente. Además, no se puede dejar de lado el gran impacto positivo que implica dejar de vaciar la GC en fuentes naturales de agua como ríos, lagos o mares. Aportando, de esta forma con el bolsillo de las empresas productoras de cerdos y con el medio ambiente.

3.5 RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE LAS CERDAS

Se realizó la evaluación del rendimiento en las cerdas gestantes con los parámetros mencionados en el capítulo anterior, de manera que se toman en cuenta los pesos reportados en una prueba T-student, la cual, es un tipo de estadística deductiva, empleado para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos [4]. Ver Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Rendimiento en cerdas gestantes, grupo control y grupo GS2%

CERDAS GESTANTES			
DIETA			
	0%	2%	p-valor
Peso (kg) d35	199.32	200.04	0.9
Peso (kg) d85	229.92	228.26	0.84
ADG (g)	612	610	0.44
ADFI (g)	2500	2500	0
F:G (g/g)	4.08	4.09	0.72

3.5.1 ADG de cerdas gestantes

Se realizó una prueba T-student para analizar los datos obtenidos y se encontró que, la inclusión de glicerina semipurificada no indujo cambios significativos en la ganancia de peso diario comparado con el alimento estándar ($p=0.44$) ver Tabla 3.8. Esto probablemente se debe a que la glicerina obtenida en este trabajo de investigación, al ser semipurificada y contener una menor cantidad de sustancias tóxicas que alteren el metabolismo, contribuye a una adecuada absorción de nutrientes, similar a la de la dieta estándar. El glicerol que se metaboliza en mamíferos no rumiantes, muestra tasas de absorción elevadas, por ello, está

indicada como una fuente de energía adecuada. Y, una vez absorbida en el intestino, es convertida en glucosa (fuente necesaria para los procesos metabólicos energéticos) [3].

3.5.2 ADFI en cerdas gestantes

El consumo diario promedio para cada cerda fue de 2.5kg en ambos grupos, no se encontraron diferencias ver Tabla 3.8. Esto indica que, la inclusión de GS2% no tuvo influencia sobre la palatabilidad del alimento ofrecido durante el tiempo de experimentación, lo cual coincide con los datos reportados por Schieck y col. Quienes indican que la adición de GC no afectó los valores de ADFI en su estudio [5].

3.5.3 F:G en cerdas gestantes

La relación entre el alimento consumido y el peso ganado se tomó a todas las cerdas. Se realizó una prueba T-student para analizar los datos obtenidos. No se encontraron diferencias significativas entre los grupos tratados ($p=0.72$) ver Tabla 3.8.

Se reportan los datos obtenidos en las cerdas gestantes, tanto para el grupo control como GS2%, donde se indica el peso (kg) a los 35 y 85 días, así como el diámetro Torácico y la condición corporal de acuerdo con lo establecido en el capítulo 2, ver Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Condición corporal en cerdas gestantes, grupo control y grupo GS2%

CERDAS GESTANTES				
	DIETA			
	0%	2%	EE	p-valor
Peso (kg) d35	199.32	200.04	4.3	0.9
Diámetro Torácico d35	53.52	53.4	0.4	0.83
Condición Corporal d35	2.64	2.68	0.08	0.72
Peso (kg) d85	229.92	228.26	6.03	0.84
Diámetro Torácico d85	56.48	56.39	0.58	0.91
Condición Corporal d85	3.76	2.91	0.64	0.29

Los resultados reportados en este trabajo de investigación referentes al rendimiento de las cerdas mantienen similitud con los reportados por Hernández y cols., [6] quienes, en 2015 evaluaron el efecto de la adición de glicerina cruda en concentraciones de 3 y 6% sobre el rendimiento de cerdas gestantes y sus camadas utilizando una dieta a base de harina de



cebada y soya. Hernández reportó que no se encontró un efecto significativo con ninguna de las concentraciones sobre el rendimiento.

3.6 RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DE LOS LECHONES DURANTE LA LACTANCIA

Se realizó la evaluación del rendimiento en los lechones con los parámetros mencionados en el capítulo anterior, de manera que se toman en cuenta los pesos reportados en una prueba T-student. Los valores obtenidos en el rendimiento de los lechones desde el nacimiento hasta el destete se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Rendimiento en lechones, grupo control y grupo GS2%

LECHONES			
DIETA			
	0%	2%	p-valor
Peso al nacimiento (kg)	1.68	1.52	0.83
Peso al destete (kg)	7.19	7.3	0.93
ADG (g)	272.47	275.27	0.78
ADFI (g)	544.72	542.44	0.88
F:G (g/g)	2.01	1.98	0.47

3.6.1 ADG de los lechones

Se encontró que, la inclusión de glicerina semipurificada no indujo cambios significativos en la ganancia de peso diario de los lechones que parieron las cerdas ($p=0.78$) ver Tabla 3.10. Lo cual está asociado directamente a la producción de leche, pues de ello depende la ganancia de peso que el lechón obtiene cada día. Probablemente la inclusión de GS2% no tuvo influencia sobre la cantidad de leche producida.

3.6.2 ADFI de los lechones

Para determinar el promedio de consumo de alimento diario durante los primeros 21 días después del nacimiento, se tomó el peso de la camada antes y después de la lactancia para determinar el consumo de leche. El promedio de consumo de alimento fue de 544.72 g



en el caso del grupo control y 542.44g para el grupo GS2%, cabe mencionar que no se encontraron diferencias significativas ($p=0.88$) ver Tabla 3.10.

3.6.3 F:G en lechones

Los valores de F:G, al corresponder a la relación entre el alimento consumido (en g) y la ganancia de peso (en g), se presentan de manera adimensional. La relación entre el promedio de alimento consumido y el promedio del peso ganado se tomó a las camadas. Se realizó una prueba T-student para analizar los datos obtenidos. El promedio de F:G fue de 2.01 para el grupo control y 1.98 para el grupo GS2%. Cabe mencionar que no se encontraron diferencias significativas entre los grupos tratados ($p=0.47$) ver Tabla 3.10.

Se reportan los datos obtenidos en las cerdas lactantes, tanto para el grupo control como GS2%, donde se indica el peso (kg) a las 24 h y al destete, así como el diámetro Torácico y la condición corporal de acuerdo con lo establecido en el capítulo 2, ver Tabla 3.11, así como agregar el promedio de camada y el promedio de lechones muertos.

Tabla 3.11. Rendimiento de las cerdas lactantes, desde el nacimiento al destete

CERDAS LACTANTES				
	DIETA			
	0%	2%	EE	p-valor
Peso (kg) 24h	198.32	201.04	5.36	0.9
Diámetro Torácico	55.52	54.84	0.65	0.83
Condición Corporal	3.22	3.06	0.089	0.72
Peso (kg) 21d	196.32	197.28	5.16	0.89
Diámetro Torácico	54	53.24	0.61	0.38
Condición corporal	2.54	2.34	0.06	0.04
Promedio de camada	9.92	10.36	0.4	0.91
Promedio de Lechones muertos	0.2	0.12	0.1	0.58



Cabe mencionar que no existe un cambio significativo con la adición de GS durante este periodo. Esto es, en principio, un indicador favorable, debido a que la formulación de las dietas y la inclusión del compuesto glucogénico no presentaron alteraciones, desventajas o perjudicaron de alguna manera a los sujetos de prueba ni a los lechones, lo que favorece a la implementación de la GS como alternativa ante el aceite de Soya y a su vez, resulta concordante con los datos reportados por Kijora [7], Lammers [8] o Shieck [5], quienes mencionan que la adición de Glicerol en la alimentación animal es posible, sin generar daños al sujeto de prueba y aprovechando el potencial energético.

Económicamente, emplear GS ofrece una alternativa viable para los productores, en la cual pueden disminuir los costos de producción mientras que mantienen la calidad en el pienso suministrado. En relación con el medio ambiente, emplear GS favorece al aprovechamiento de recursos típicamente considerados como residuo, de manera que su uso disminuye su presencia, como contaminante, y lo posiciona como un producto de valor agregado. Socialmente, el uso de GS a gran escala puede incentivar a la investigación que permita eventualmente aprovechar mejor dicho recurso y expandir sus aplicaciones, de tal manera que sea posible generar trabajos al escalarlo a una planta formal de producción.

3.7 DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como propósito evaluar el efecto de la glicerina semipurificada al 2% en la alimentación porcina de cerdas gestantes, lactantes y sobre el rendimiento de los lechones durante la lactancia. A continuación, se discuten los principales hallazgos de este estudio. Se sabe que las cerdas en etapa de gestación y lactancia tienen mayor cantidad de requerimientos nutricionales y energéticos que las cerdas no gestantes y no lactantes. Por lo anterior, el glicerol contenido en la GS puede contribuir a cubrir gran parte de estos requerimientos energéticos. Noblet *et al* [9] reportaron que la suplementación con glicerol incrementó la producción de leche en cerdas lactantes. El aporte calórico de la Glicerina empleada en este proyecto con relación al costo de producción hace factible su implementación sustituyendo al aceite de soya empleado por el productor, ya que aun cuando es 2.65 veces menor (333.5 kcal/100 g para la Glicerina, y 886 kcal/100g para el aceite de soya) su aplicación económica sigue resultando favorable para los productores.



Generar dietas isoenergéticas e isocalóricas adaptables a las demandas nutrimentales de cada etapa es congruente a lo reportado por Pinzón y col. [3], donde se emplearon dietas formuladas específicamente para la etapa de desarrollo en cuestión, las cuales resultaron ser eficaces en su implementación, dado el aprovechamiento de los nutrientes sin afectar a los sujetos de prueba.

Por otro lado, el proceso de semipurificación permite que, en la Glicerina empleada se reduzcan los contaminantes presentes, lo cual favorece el aprovechamiento de componentes energéticos y permite su uso acorde con lo estipulado en la NOM-012-ZOO-1993. La evaluación del rendimiento durante las etapas del proceso permitió el escalonamiento del proceso indicado por la patente con número MX/a/2022/012131, de manera que las etapas señaladas allí se lograron adaptar para realizar el proceso en cantidades que van desde 1 hasta 100 litros, empleando el equipo adecuado y los reactivos necesarios.

Cabe mencionar que se obtuvo, dentro del proceso de producción de Glicerina Semipurificada, un subproducto denominado “Ácidos grasos”, el cual, podría ser empleado en la alimentación animal dado su aporte calórico potencial, lo cual favorece el aprovechamiento del proceso al tener más de un producto con valor agregado.

Adaptar la dieta establecida para las cerdas gestantes empleando la Glicerina Semipurificada comprendió un paso fundamental para la aplicación en el pienso. El contar con la dieta formulada por el productor permitió el desarrollo de un balance económico que diera lugar a un ajuste en la proporción de Glicerina Semipurificada que es empleada, así como regular los porcentajes adicionados por tonelada de pienso producido para permitir mimetizar el efecto calórico.

La formulación de dietas fundamentadas en los requerimientos establecidos por la NRC 2000 [1] permiten aportar los nutrientes y energía requerida por los cerdos en las diferentes etapas, mientras que la capacidad monogástrica de los sujetos de prueba favoreció el aprovechamiento de sustancias, como la Glicerina, en la elaboración del pienso.

Además, medir los niveles de ADG, ADFI y F:G en los lechones permitió relacionar la adición de Glicerina Semipurificada con la capacidad de producción de las cerdas gestantes, de manera que se logró establecer que los niveles de producción de la misma no



se ven afectados significativamente con la composición del pienso empleada para este proyecto, lo cual concuerda con lo reportado por Lammers y col [8], quienes emplearon estos parámetros para medir y determinar las proporciones adecuadas de Glicerina Cruda que pudieran ser aplicadas en la alimentación porcina.

Cabe mencionar que se requiere de más proyectos de investigación que permitan evaluar diferentes aspectos, mejorar, optimizar y desarrollar nuevas alternativas de aplicación para la Glicerina Cruda, lo cual favorecerá de manera ambiental, al disminuir los contaminantes generados por las industrias del biodiesel, económico, al aumentar las ganancias de los productores de un sector económico de gran importancia en el país, y social, al apoyar a quienes encuentran su sustento económico en actividades ganaderas.

3.8 Bibliografía

1. N.R.C. Nutrient Requirement of Swine. 11th Edition. National Academy of Science. Washington D.C; 2012.
2. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. AOAC.; 1990.
3. Pinzón, C., Jiménez, R., Domínguez P., Gallegos, M., Herrera, E., Pámanes, G., Comportamiento productivo y perfil metabólico de becerros suplementados con glicerina cruda. Acta Universitaria, 30. SCIELO; 2020.
4. Scientific European Federation Osteopaths, Prueba “t” de Student. SEFO; 2019.
5. Schieck, S., Kerr, B., Baidoo, S., Shurson, G., Johnston, L., Use of crude Glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. American Society of Animal Science. ASAS. Doi: 10.2527/jas.2009-2609. 2010.
6. Hernández, F., Orengo, J., Villodre, C., Martínez, S., López, M., Madrid, J., Addition of crude glycerin to pig diets: sow and litter performance, and metabolic and feed intake regulating hormones. Anima; 2016.
7. Kijora, C., Bergner, H., Gotz, K. P., Bartelt, J., Szakacs, J., Sommer, A., Research note: investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls. Arch. Tierernahr.; 51:341-348; 1998.
8. Lammers, P., Kerr, B., Weber, T., Bregendahl, K., Lonergan, S., Prusa, K., Ahn, D., Stoffregen, W., Dozier III, Honeyman, M., Growth performance, carcass characteristics,



meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. American Society of Animal Science. ASAS.; 2008.

9. Noblet, J., Dounnad, J., Etienne, M., Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. Journal of Animal Science 68 562-572; 1990.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES

“No es el conocimiento, sino el acto de aprendizaje; y no la posesión, sino el acto de llegar a ella, lo que concede el mayor disfrute.”



Con base en los resultados alcanzados en este trabajo de investigación, se concluye lo siguiente:

1. La inclusión de GS2% no indujo cambios significativos en el rendimiento de las cerdas gestantes en ninguna de las 2 etapas evaluadas.
2. La inclusión de GS2% indujo, de manera interesante, una disminución en la condición corporal evaluada al destete. Además de esto, no se encontraron diferencias significativas en los demás parámetros evaluados.
3. La inclusión de GS2% no indujo cambios significativos en el rendimiento de los lechones en ninguna de las 2 etapas evaluadas (24 hr postparto-destete).
4. La inclusión de GS2% no indujo cambios significativos en el promedio de camadas ni el promedio de lechones muertos.
5. Los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación resultan concordantes con lo reportado por Kijora en 1995, Lammers en 2008 o Shieck en 2010.
6. Los resultados obtenidos son favorables, ya que indican que la adición de la Glicerina producida no ha inducido efectos negativos en los sujetos de prueba.
7. El proceso de producción de Glicerina Semipurificada permitió obtener un rendimiento superior al 60% en el producto deseado.



ANEXOS



Tabla a.1 Simbología

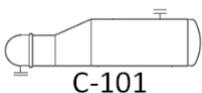
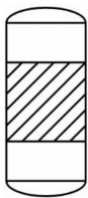
EQUIPO	SIMBOLO	CARACTERÍSTICAS
Tanque de Almacenamiento		Contenedores con tapa de capacidad de 120 litros, de 70 cm de altura y diámetro de 56.9 cm, con un peso aproximado de 4.5 kg.
Calentador	 C-101	Parrilla eléctrica de disco doble, con dimensiones de 22.5 x 45 x 6.5 cm, con un voltaje de 127 Voltios, 1000 watts y un peso aproximado de 2.6 kg.
Tanque de Filtrado		Tambo de plástico con tapa de capacidad de 120 litros, de 78 cm de alto y diámetro de 39 cm, con un peso aproximado de 4.5 kg.
Embudo de Decantación		Embudo plástico de capacidad de 60 litros, 2 salidas con válvulas de paso de bola.

Tabla a.2 Análisis de Glicerina

Determinaciones	Resultados
Grasa (Extracto Etéreo) (% en peso) Método: NMX-F-615-NORMEX-2004	2.3
Proteína (% en peso) Método: NMX-F-608-NORMEX-2011	<0.1
Humedad a la estufa (% en peso) Método: NOM-116-SSA1-1994	14.9
Cenizas (% en peso) Método: NMX-F-607-NORMEX-2013	4.6
Índice de Peróxidos (meq O ₂ /kg de grasa) Método: NMX-F-614-NORMEX-2004	<0.02
Carbohidratos Totales (por diferencia) (% en peso) Método: AOAC Official Method 986.25	78.2
Contenido energético (por cálculo) (kcal/100g) Método: NOM-051-SCFI/SSA1-2010	333.5
Contenido energético (por cálculo) (KJ/100g) Método: NOM-051-SCFI/SSA1-2010	1 414.5

Tabla a.3 Análisis del Aceite Vegetal.

Determinaciones	Resultados
Grasa (Extracto Etéreo) (% en peso) Método: NMX-F-615-NORMEX-2004	98.6
Proteína (% en peso) Método: NMX-F-608-NORMEX-2011	<0.1
Humedad y Materia Volátil (% en peso) Método: NMX-F-223-SCFI-2012	1.2
Cenizas (% en peso) Método: NMX-F-607-NORMEX-2013	0.2
Índice de Peróxidos (meq O ₂ /kg de grasa) Método: NMX-F-154-SCFI-2010	0.3
Carbohidratos Totales (por diferencia) (% en peso) Método: AOAC Official Method 986.25	0
Contenido energético (por cálculo) (kcal/100g) Método: NOM-051-SCFI/SSA1-2010	887.4
Contenido energético (por cálculo) (KJ/100g) Método: NOM-051-SCFI/SSA1-2010	3 648.2