

EVALUACIÓN DE LA SÍNTESIS DE BIODIÉSEL MEDIANTE EL USO DE
RESIDUOS DE AGUCATE HASS (SEMILLA) EMPLEANDO EL MÉTODO DE
TRANSESTERIFICACIÓN.

KAREN ALEJANDRA CASTELLANOS ESPITIA
LIZETH ANDREA DAZA HERNÁNDEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020

EVALUACIÓN DE LA SÍNTESIS DE BIODIÉSEL MEDIANTE EL USO DE
RESIDUOS DE AGUCATE HASS (SEMILLA) EMPLEANDO EL MÉTODO DE
TRANSESTERIFICACIÓN.

KAREN ALEJANDRA CASTELLANOS ESPITIA
LIZETH ANDREA DAZA HERNÁNDEZ

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
CAMILO ANDRÉS LOPÉZ SANTAMARÍA
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020

Nota de aceptación

Ing. Duvian Alberto Vera Romero

Ing. Luis Miguel Chaparro Hernández

Bogotá D.C, febrero 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector de Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Postgrados (E)

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Secretaría General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano de Facultad de Ingenierías

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Departamento de Ingeniería Química

Dr. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente son exentos de la responsabilidad de los criterios e ideas expuestos en el presente documento. La responsabilidad es exclusiva de las autoras.

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme culminar este proyecto y por ser mi motor cada día para el desarrollo del mismo. A mis padres, por su apoyo incondicional, por su comprensión y sus palabras de aliento para sobrellevar los inconvenientes que se presentaron. A mi hermana por su apoyo emocional. A mi mejor amigo por estar presente en mi vida, por su apoyo, motivación y consejos en cada decisión que tomé. Las palabras no alcanzan para expresar las emociones que se sienten por haber culminado esta etapa de mi vida. El camino no fue fácil pero cada experiencia de la vida nos forma como personas y ante la tormenta nos muestra que con la ayuda de Dios, resiliencia y valentía todo es posible.

Para terminar, agradezco a mi compañera de trabajo de grado por la paciencia, por la comprensión, por sus ideas, por su buena energía, sus palabras en el momento indicado y por el logro que alcanzamos. Así mismo, a todas las personas que formaron parte de este proceso y fueron una luz para nuestras vidas con su sabiduría y aportes constructivos para este proyecto.

“Un guerrero responsable no es alguien que toma el peso del mundo en sus hombros, sino alguien que ha aprendido a tratar con los desafíos del momento “.
Paulo Coelho

Karen Alejandra Castellanos Espitia

Agradezco a Dios por permitirme culminar este gran paso en mi vida, a mis padres por su infinito amor y paciencia durante toda la carrera, por enseñarme a no rendirme y practicar esa frase que dice: “Insistir, persistir pero nunca desistir” en mi corazón no hay más que agradecimientos porque sin ustedes hubiera sido aún más largo el camino, han sido mi motor para levantarme cada día a mi papá por su apoyo y sus consejos en el momento indicado, a mi mamá por su ternura y entrega, a mi hermano por su apoyo intelectual, sus consejos y sus elocuencias que muchas veces me animaron a no desfallecer. A mi compañera porque solo las dos sabemos la lucha que fue sacar este proyecto adelante, pero no faltaron las risas, además de la amistad tan bonita que pudimos construir a lo largo de este proyecto, el aprendizaje fue arduo, las traspasadas ni se diga, fuimos un gran equipo a pesar de las adversidades. No existirían las palabras suficientes para agradecer a todas las personas que en mayor y menor proporción contribuyeron en la construcción de este sueño.

Lizeth Andrea Daza Hernández

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos son a:

La universidad ECCI por darnos la oportunidad de desarrollar nuestro proyecto de grado dentro de sus instalaciones.

Al Ingeniero Camilo Posada por su guía, paciencia y disposición durante cada etapa del proyecto.

Al Ingeniero Efrén Prado por brindarnos su apoyo y colaboración quien con su experiencia apporto significativamente en el desarrollo del proyecto.

Al ingeniero Diego Castañeda por sus aportes y conocimientos en este proyecto.
La Universidad Fundación América y a sus docentes por brindarnos sus conocimientos para formarnos como profesionales.

Nuestro director de tesis Camilo López Santamaría por su asesoría y acompañamiento durante la ejecución del proyecto.

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	24
1.1 COMBUSTIBLES	24
1.2 BIOCOMBUSTIBLES	24
1.2.1 Biocombustibles de primera generación	25
1.2.2 Biocombustibles de segunda generación	25
1.2.3 Biocombustibles de tercera generación	26
1.2.4 Biocombustibles de cuarta generación	26
1.3 BIODIÉSEL	26
1.4 PERSEA AMERICANA HILL	28
1.5 BIODIÉSEL EN COLOMBIA	29
1.6 ACEITE	33
1.6.1 Extracción y Refinación de aceites	33
1.6.2 Desgomado	34
1.6.3 Neutralización	34
1.6.4 Blanqueamiento	34
1.6.5 Desodorización	34
1.7 EXTRACCIÓN DE ACEITE POR PRENSADO	35
1.8 TRANSESTERIFICACIÓN	35
1.8.1 Variables más importantes que influyen en la reacción de transesterificación	36
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	40
2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FRUTO	40
2.2 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	41
2.2.1 Humedad	41
2.2.2 Cenizas	42
2.2.3 Lípidos	43
2.2.4 Índice de saponificación	44
2.3 PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL	45
2.3.1 Diseño de experimentos	45
2.4 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	48
2.4.1 Extracción por solvente soxhlet	48
2.4.2 Extracción de aceite por prensado mecánico	49
2.4.3 Tratamiento del aceite	50
2.5 ETAPA DE TRANSESTERIFICACIÓN	51
2.6 CARACTERIZACIÓN DEL BIODIÉSEL	53
2.6.1 Viscosidad cinemática	53
2.6.2 Densidad	54
2.6.3 Cenizas sulfatadas	55
2.6.5 Punto de inflamación	55
3. ESCALAMIENTO PLANTA PILOTO	57
3.1 DIAGRAMA PFD	58
3.2 BALANCE	59
3.2.2 Balance por operación unitaria	60

3.3	DIAGRAMA P&ID	70
3.4	DISEÑO EN 3D DE PLANTA DE BIODIESEL (ESCALA PILOTO)	71
3.5	DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	72
3.5.1	Extracción	72
3.5.2	Refinación	74
3.5.3	Producción de biodiésel	76
4.	ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN	79
4.1	INVERSIONES	79
4.1.1	Inversiones fijas	79
4.1.2	Inversiones diferidas	81
4.1.3	Costos de operación	82
4.1.4	Servicios	83
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
5.1	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	85
5.1.1	Humedad	85
5.2	Cenizas	86
5.2.1	Lípidos	87
5.3	OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL	87
5.3.1	Extracción de aceites	87
5.4	CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE	89
5.4.1	Índice de saponificación	89
5.4.2	Índice de acidez	89
5.5	REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN	90
5.6	CARACTERIZACIÓN DEL BIODIÉSEL	93
5.6.1	Viscosidad cinemática	93
5.6.2	Densidad	94
5.6.3	Cenizas sulfatadas	94
5.6.4	Punto de inflamación	95
5.7	Resumen de análisis de resultados caracterización de materia prima. ...	97
5.7.1	Resumen de análisis de resultados de obtención de biodiésel.	97
6.	COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL ENTRE SEMILLA AGUCATE HASS Y PALMA AFRICANA	99
7.	CONCLUSIONES	104
8.	RECOMENDACIONES	105
	BIBLIOGRAFIA	107
	ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición lipídica de la pulpa de aguacate Hass	29
Tabla 2. Plantas productoras de biodiésel en Colombia	32
Tabla 3. Parámetros del biodiésel para mezcla con combustibles diésel	38
Tabla 4. Dimensiones aguacate Hass	40
Tabla 5. Diseño factorial	46
Tabla 6. Combinaciones del experimento	46
Tabla 7. Análisis de varianza	47
Tabla 8. Adecuación de la materia prima para la prensa	49
Tabla 9. Identificación de corrientes del proceso	59
Tabla 10. Tabla estequiométrica	66
Tabla 11. Corrientes del balance de materia del proceso	70
Tabla 12. Ficha Técnica de la prensa LIBC3	73
Tabla 13. Ficha Técnica del Equipo de desgomado HDC-JLJ75B	74
Tabla 14. Ficha Técnica Horno de secado universal BB25OA	75
Tabla 15. Ficha Técnica de Reactor Batch	77
Tabla 16. Ficha Técnica del decantador	78
Tabla 17. Costo de equipos de proceso	79
Tabla 18. Costo de equipos de instrumentación	80
Tabla 19. Muebles y enseres	80
Tabla 20. Costo de terrenos	81
Tabla 21. Costos de activos intangibles	81
Tabla 22. Costos de materia prima	82
Tabla 23. Costos mano de obra directa	83
Tabla 24. Servicios	83
Tabla 25. Costos totales de inversión	84
Tabla 26. Resultados de Humedad (Húmeda)	85
Tabla 27. Resultados de Humedad (Seca)	85
Tabla 28. Determinación de cenizas (base seca)	86
Tabla 29. Determinación de cenizas (base húmeda)	86
Tabla 30. Aceite obtenido del extractor Soxhlet	87
Tabla 31. Aceite obtenido mediante la extracción soxhlet	87
Tabla 32. Aceite obtenido mediante la prensa mecánica	88
Tabla 33. Resultados índice de saponificación	89
Tabla 34. Índice de acidez para aceites	90
Tabla 35. Rendimientos de biodiésel	90
Tabla 36. Resultados de la viscosidad cinemática	93
Tabla 37. Resultado de la densidad de biodiésel	94
Tabla 38. Cenizas Sulfatadas	94
Tabla 39. Punto de inflamación	95
Tabla 40. Porcentaje caracterización de materia prima	97
Tabla 41. Rendimientos en la síntesis de biodiésel	97

Tabla 42. Rendimientos de materias primas(Lts/ha/año)	99
Tabla 43. Comparación Rendimiento	102
Tabla 44. Comparación de parámetros	102

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Estructura de una molécula típica del diésel	24
Imagen 2. Estructura molecular del biodiésel	27
Imagen 3. Frutos de aguacate Hass	29
Imagen 4. Reacción de transesterificación de un triglicérido	35
Imagen 5. Semilla de aguacate Hass	40
Imagen 6. Medición de las dimensiones de la semilla	41
Imagen 7. Maduración del aguacate Hass	41
Imagen 8. Semilla peso seco	42
Imagen 9. Cenizas de la semilla	43
Imagen 10. Determinación de lípidos (Metodo Soxhlet)	44
Imagen 11. Determinación del índice de saponificación	45
Imagen 12. Equipo extractor Soxhlet	48
Imagen 13. Aceite obtenido de la torta por extracción Soxhlet	48
Imagen 14. Extracción de aceite mediante la prensa mecánica	50
Imagen 15. Desgomado del aceite	50
Imagen 16. Filtrado del aceite	51
Imagen 17. Elaboración del biodiésel escala laboratorio	53
Imagen 18. Montaje para la determinación viscosidad cinemática	54
Imagen 19. Densidad del biodiésel	54
Imagen 20. Determinación de cenizas sulfatadas	55
Imagen 21. Determinación del punto de inflamación	56
Imagen 22. Diseño en 3D planta piloto	72
Imagen 23. Prensa LIBC3	73
Imagen 24. Equipo desgomador HDC-JLJ75B	74
Imagen 25. Horno de secado universal BB25OA	75
Imagen 26. Reactor Batch	76
Imagen 27. Evaporador Industrial	78
Imagen 28. Composición de ácidos grasos de la palma africana.	100
Imagen 29. Composición de ácidos grasos de aguacate	101

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Determinación de la humedad en base seca	42
Diagrama 2. Determinación de cenizas	43
Diagrama 3. Diagrama PFD de producción de biodiésel	58
Diagrama 4. Sistema global de la síntesis de biodiésel	60
Diagrama 5. Operación unitaria extracción del aceite	60
Diagrama 6. Operación unitaria para la purificación	61
Diagrama 7. Operación unitaria secador	62
Diagrama 8. Reacción de transesterificación	63
Diagrama 9. Balance para	63
Diagrama 10. Operación unitaria del evaporador	68
Diagrama 11. Operación unitaria de separación	69
Diagrama 12. P&ID	71

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Ventajas y desventajas del biodiésel	28
Cuadro 2. Corrientes de proceso en la síntesis de Biodiésel	57
Cuadro 3. Especificación de equipos en el PFD	58

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Balance del sistema global (entradas y salidas)	60
Ecuación 2. Balance de la extracción del aceite	60
Ecuación 3. Balance purificación del aceite	61
Ecuación 4. Balance del proceso de secado	62
Ecuación 5. Relación molar	64
Ecuación 6. Balance de materia en el reactor	64
Ecuación 7. Determinación del reactivo limite	64
Ecuación 8. Constante de equilibrio a partir de la productoría	66
Ecuación 9. Conversión	67
Ecuación 10. Constante de equilibrio	67
Ecuación 11. Fugacidad para mezclas liquidas	67
Ecuación 12. Volumen del reactor	68
Ecuación 13. Determinación de la humedad	85
Ecuación 14. Determinación de cenizas	86
Ecuación 15. Rendimiento de la extracción	88
Ecuación 16. Determinación del índice de saponificación	89
Ecuación 17. Determinación del índice de acidez	90
Ecuación 18. Rendimiento de biodiésel	91
Ecuación 19. Viscosidad Cinemática	93

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Demanda nacional de Biodiésel	31
Gráfica 2. Precios de biodiésel en Colombia	33
Gráfica 3. Efecto de los ácidos grasos sobre el rendimiento de biodiesel en la reacción de transesterificación	36
Gráfica 4. Efecto del contenido de humedad sobre el rendimiento de biodiésel en la reacción de transesterificación	37
Gráfica 5. Diagrama de Pareto	92
Gráfica 6. Rendimiento de Biodiésel	92

GLOSARIO

ACEITE: es una mezcla líquida a temperatura ambiente de triglicéridos con ácidos grasos de diferente número de carbonos. Son insolubles en agua, pero solubles en disolventes como hexano, éter etc.

ÁCIDOS GRASOS: es el nombre común que se le da a un grupo de moléculas orgánicas que poseen un único grupo carboxilo (COOH), de diferente longitud o número de átomos de carbono.

AGUACATE HASS: (*Persea americana mill*) es una fruta tropical con un alto contenido nutricional, es una fruta rica en grasas. Principalmente ácidos grasos monoinsaturados, predominantemente guatemalteco, más de 60 países en el mundo lo producen se destacan México, Chile y Estados Unidos.

BIOCOMBUSTIBLE: son combustibles producidos a partir de biomasa.

BIODIÉSEL: ésteres de alquilo de cadena larga formado a partir de la Transesterificación de aceite vegetal o grasa animal.

BIOMASA: es cualquier material orgánico no fosilizado y biodegradable; originario de plantas, animales y microorganismos. Se incluyen productos, subproductos, residuos y desechos de la agricultura, industrias forestales y afines.

CATALIZADOR: es una sustancia que eleva la velocidad de reacción, disminuyendo la energía de activación, sin modificar las condiciones de equilibrio. Su efecto no ocurre a perpetuidad, porque con el tiempo se modifican sus propiedades y se deteriora.

LÍPIDOS: los lípidos son un grupo heterogéneo de compuestos orgánicos definidos por su solubilidad en solventes no polares como cloroformo, éter y benceno, y por su poca solubilidad en agua. Los lípidos pueden ser polares o no polares (anfipático); los lípidos polares tienen solubilidad limitada en agua porque son anfipáticos; es decir, poseen regiones hidrofílicas e hidrofóbicas en la misma molécula. Los principales lípidos polares incluyen ácidos grasos, colesterol, glicerofosfátidos y glucofosfolípidos.

OLEAGINOSA: son plantas que dentro de su composición tienen ácidos grasos y glicerina como parte de sus componentes esenciales; cuyas semillas o frutos contienen aceite que son extraídos para fines alimenticios e industriales.

TRANSESTERIFICACIÓN: reacción entre un éster y un alcohol, por el cual se da el intercambio de sus cadenas, para formar otro éster y otro alcohol.

TRIGLICÉRIDO: un triéster compuesto por ácidos grasos de diferente longitud de cadena. Conformada comúnmente entre 12 y 22 carbonos.

RESUMEN

Con el fin de estudiar nuevas fuentes de energía y específicamente, materias primas susceptibles para la producción de biocombustibles para ser empleados en motores diésel, el presente documento muestra un análisis de las variables de operación involucradas en la reacción de transesterificación de aceites vegetales no convencionales de origen colombiano. En concreto, se trabajó con los aceites extraídos del aguacate Hass (*Persea americana var Hass*), utilizando el residuo como lo es la almendra. Para esto, se llevaron a cabo los respectivos procesos de extracción por prensado mecánico, refinación, y transesterificación de los aceites. La reacción de transesterificación se efectuó en un ambiente homogéneo y alcalino. El biocombustible obtenido al final del proceso se contrastó con los requerimientos de las normas para biocombustibles tipo diésel (ASTM D6751). Esto permitió evaluar diferentes condiciones de operación y así se escogió la de mejor rendimiento para realizar un diseño de proceso a escala de planta piloto, y un estudio económico para determinar los costos de producción de biodiésel.

Palabras Clave: Biodiésel, Transesterificación, Aceite, Aguacate Hass.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el abastecimiento mundial de energía es suministrado en mayor medida por combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón, representando aproximadamente el 85 %. Menos del 15 % proviene de fuentes alternativas.

La dependencia hacia los recursos no renovables, ha acarreado múltiples problemas ambientales como el calentamiento global y las consecuencias que de este fenómeno se derivan; dentro de las problemáticas sociales y económicas, se evidencia la presencia de oligopolios, que a su vez generan inestabilidad en los precios y barreras que impiden la entrada de nuevas empresas, obstáculos para la productividad y el crecimiento de la economía.

Los biocombustibles se presentan como una fuente alternativa y sostenible para sustituir a los combustibles tradicionales de origen fósil. Es por esta razón, que muchos países están promoviendo continuamente políticas para el desarrollo y uso de los mismos en el marco de la agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible¹. Colombia se alinea a estas políticas mediante la construcción de algunos avales en el Concejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), y la sanción de las leyes de 693, 818 y 939, que reglamentan la producción y comercialización de los combustibles de origen vegetal o animal para uso en motores tipo diésel.

Este tipo de combustibles destinados al sector automotor son aquellos que permiten reemplazar a la gasolina, al queroseno y al diésel. Los ésteres alquílicos surgen como respuesta para reemplazar parcialmente al diésel; su síntesis requiere de condiciones de operación moderadas y económicas en comparación con otros métodos como la descarboxilación-descarbonilación, o la gasificación y reformado. De este modo, es una tecnología fácilmente implementable en los mismos sectores en donde se recolecta la materia prima, haciendo más versátil su producción y comercialización.

Por consiguiente, se quiere aprovechar los residuos de plantas oleaginosas como materia prima para la obtención de biodiésel sin generar afectaciones a la industria alimenticia. En este caso particular, se estudió la semilla del aguacate Hass (*Persea americana hass*), que constituye alrededor del 15 % del peso del fruto y

¹ Publicación de las naciones unidas. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. [en línea].2018. [citado 15 de agosto de 2019]. Disponible en:

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf. ISBN: 978-92-1-058643-6

dentro de su composición presenta ácidos grasos (en su mayor proporción el ácido oleico).

Por otra parte, para la producción de biodiésel a partir de una biomasa con alto contenido de triglicéridos, se estudiaron las variables que interfieren en la reacción de transesterificación, la cual consiste en el desplazamiento del alcohol de un éster por otro alcohol en un proceso similar a la hidrólisis. Este método ha sido ampliamente estudiado y corroborado para reducir la viscosidad de los triglicéridos y así favorecer la síntesis de biodiésel a partir de numerosos tipos de aceite, haciendo práctico un estudio para la evaluación de nuevas materias primas, ya que se cuenta con multitud de estándares para contrastar la calidad de los nuevos aceites.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la producción de biodiésel mediante el uso de residuos de aguacate Hass (Semilla) empleando el método de transesterificación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físico-químicas del aguacate Hass.
- Obtener biodiésel mediante la reacción de transesterificación teniendo en cuenta condiciones de operación (temperatura, relación aceite-alcohol y concentración de catalizador) a nivel laboratorio.
- Especificar las condiciones de operación a una escala de planta piloto.
- Establecer los costos de operación para la producción de biodiésel a una escala mayor (planta piloto).

1. GENERALIDADES

Con el objetivo de dar un panorama que permita identificar los conceptos necesarios para el entendimiento del desarrollo de este proyecto, en este capítulo se abarcarán temas relacionados con la síntesis de biodiésel, del mismo modo las variables que intervienen en este proceso y como en los últimos años la producción de los biocombustibles ha aumentado; convirtiéndolos en una fuente de energía prometedora.

1.1 COMBUSTIBLE

Un combustible puede ser cualquier material que, al entrar en contacto con oxígeno, a determinadas condiciones de energía y presión, libera energía. Estos pueden ser sólidos como el carbón o la madera, gases como el gas de síntesis o el biogás y, dentro de los líquidos más utilizados, se encuentran la gasolina, el queroseno y el diésel. Estos combustibles se han obtenido tradicionalmente del petróleo, después de ser sometido a procesos de refinación y destilación, extrayendo las fracciones requeridas según su uso. Siendo el diésel la fracción más pesada de entre estos tres combustibles líquidos.

Químicamente, el diésel es una mezcla de hidrocarburos, principalmente (en un 75 %) parafínicos (Imagen 1), y aromáticos (incluyendo naftalenos y alquilbencenos). Las cadenas de dichas parafinas típicamente contienen entre 9 y 25 carbonos.

Imagen 1. Estructura de una molécula típica del diésel.



Fuente: Jun Cong Ge, Sam Ki Yoon, and Nag Jung Cho. Using Canola Oil biodiésel as an Alternative Fuel in Diesel Engines: A Review. (2017).

1.2 BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles se producen en mayor proporción a partir de biomasa; se conocen como combustibles líquidos o gaseosos para el sector del transporte.

La mayor diferencia entre los biocombustibles y los combustibles derivados del petróleo es el contenido de oxígeno. Los biocombustibles presentan entre 10% y 45% en peso de oxígeno, mientras que los combustibles de petróleo no poseen ninguno, lo que hace que las propiedades químicas de los biocombustibles sean

muy diferentes a los del petróleo. Hay dos combustibles de transporte de líquidos a base de biomasa que podría reemplazar al petróleo. El bioetanol puede sustituir la gasolina y el biodiésel puede suplir al diésel.

El uso de biocombustibles está asociado con la reducción de emisiones netas de gases de efecto invernadero, lo que los convierte en una opción atractiva para combatir el cambio climático y acoplarse a los objetivos nacionales e internacionales de desempeño ambiental. Como la industria de los biocombustibles está basada en la biomasa agrícola (o potencialmente forestal) ofrecen muchos beneficios que incluyen sostenibilidad, desarrollo regional, reducción de la pobreza rural y seguridad energética.

1.2.1 Biocombustibles de primera generación. Los biocombustibles de primera generación son aquellos que su materia prima proviene de grasas animales y vegetales tales como: la colza, palma, soja, girasol entre otros. Para su elaboración se manejan tecnologías convencionales como la fermentación, transesterificación y digestión anaerobia, como resultado de estos procesos se obtiene etanol, metanol, y n-butano, biodiésel y biogás. Una de las ventajas de estos biocombustibles son sus facilidades de procesamiento, además de sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos² y la amplia deforestación de bosques.

1.2.2 Biocombustibles de segunda generación. Los insumos son residuos agrícolas y forestales que dentro de su composición contienen celulosa. Los procesos de producción son más complejos que los de primera generación como lo son la sacarificación, fermentación y el proceso Fischer-Tropsch y de ello se obtienen: etanol, metanol, gas de síntesis, biodiésel entre otros. Dentro de las ventajas no existe una desviación de alimentos aprovechando a su vez los residuos generados, y como desventaja las emisiones de gases de efecto invernadero son mayores respecto a las de primera generación.

²Álvarez Carlos. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico. [consultado 12de marzo]. Recuperado de: < PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA: Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas. [consultado 25 de abril]. Recuperado de: <https://mrv.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf>. 2009.

1.2.3 Biocombustibles de tercera generación Los insumos empleados para su síntesis son vegetales que no hacen parte del consumo humano y poseen características energéticas que les permiten almacenar componentes químicos, estos pueden ser las algas verdes y verde azules. Aunque no hay procesos tecnológicos muy avanzados, se ha producido biodiésel y etanol a nivel planta piloto. Una de sus ventajas al tratarse de microalgas se presenta como una alternativa prometedora, ya que el rendimiento del aceite es 25 veces mayor al obtenido en cultivos oleaginosos. Además, las microalgas crecen en agua dulce o salada (diferentes condiciones ambientales), poseen una alta capacidad de absorber dióxido de carbono disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero y sus cultivos necesitan pequeñas extensiones de tierra³.

1.2.4 Biocombustibles de cuarta generación. Los biocombustibles son generados a partir de bacterias que son modificadas genéticamente, las cuales emplean anhídrido carbónico o alguna otra fuente de carbono. Esta generación actualmente se encuentra en fase teórica únicamente se conoce la ruta de síntesis.

1.3 BIODIÉSEL

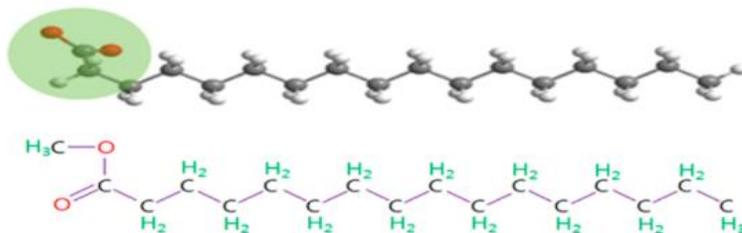
El biodiésel se refiere a un combustible a base de aceite vegetal o grasa animal formado de ésteres de alquilo (metilo, propilo o etilo) de cadena larga.

El biodiésel frecuentemente se hace por medio de una reacción química denominada transesterificación. Al igual que el diésel fósil, el biodiésel opera en el mismo motor.

El biodiésel se considera combustible limpio, ya que casi no contiene azufre ni compuestos aromáticos. Se biodegrada hasta 4 veces más rápido que el diésel de petróleo y no es tóxico. No se encenderá espontáneamente en circunstancias normales ya que, tiene un alto punto de inflamación. Tiene un olor suave, bastante agradable.

³ Análisis del sector biodiesel en Colombia y su cadena de suministro / Jahir Lombana Coy ... [et al.] — Barranquilla, Colombia: Editorial Universidad del Norte, 2015.

Imagen 2. Estructura molecular del biodiésel.



Fuente: Jun Cong Ge, Sam Ki Yoon, and Nag Jung Cho. Using Canola Oil Biodiesel as an Alternative Fuel in Diesel Engines: A Review. (2017).

En el cuadro 1 se pueden observar algunos factores que se consideran en la actualidad, es importante resaltar que el biodiésel se aproxima a una eficiencia térmica superior o mayor con respecto al diésel, esto debido a la cantidad de oxígenos y de cetanos que son provenientes de la combustión renovable⁴.

⁴ Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiésel / IICA, Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles – San José, C.R.: IICA, 2010. Disponible en: http://euroclimaplus.org/images/Publicaciones/Biocombustibles/LAC_IICA_Biodiesel_Atlas.pdf.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas del biodiésel.

Deseables	No tan deseables
<p>Es una fuente de energía limpia, renovable, de calidad y económicamente viable, que además contribuye a la conservación del medio ambiente, por lo que representa una alternativa a los combustibles fósiles.</p> <p>Se trata de un combustible biodegradable, cuyo uso disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y óxidos de azufre. También reduce entre 60 % y 90 % la cantidad de hidrocarburos totales no quemados.</p> <p>Puede ser producido económicamente en un amplio rango de lugares tanto rurales como urbanos y en diferentes escalas (pequeñas para autoconsumo o comerciales).</p> <p>Tiene un gran potencial para ser producido por aceites no comestibles.</p> <p>El contenido energético del etanol es de 67% con respecto a aquel de la gasolina, mientras que el del biodiésel es de 90% en relación con el diésel proveniente del petróleo.</p>	<p>El proceso de fabricación de biodiésel libera la glicerina, la cual todavía constituye un problema por su contenido tóxico (moderado) y contaminante.</p> <p>Aporta un 10% de óxidos nitrosos a la atmósfera (lluvia ácida) con respecto a los combustibles fósiles.</p> <p>Balance energético. Un aspecto que todavía es debatido en el mundo es si el balance energético del biodiésel es positivo. En la jerga de la producción de combustibles, se entiende por balance energético la diferencia entre la energía que produce un kilogramo de combustible (biodiésel en este caso) y la energía necesaria para producirlo, lo cual incluye extracción (cultivo, en este caso), procesamiento, transporte, refinado entre otros.</p>

Fuente: Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiésel / IICA, Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles – San José, C.R.: IICA, 2010.

1.4 PERSEA AMERICANA HILL

La Persea americana, también conocida como aguacate hass, es un árbol de hoja perenne, originario de las climas tropicales y subtropicales de Latinoamérica. Se caracteriza por un crecimiento rápido que puede alcanzar alturas superiores a los 20 m.

El fruto consiste de una semilla grande y el pericarpio, presentando diferentes características de tamaño, color (desde el verde claro hasta el negro), forma y textura (Imagen 3).

Imagen 3.Frutos de aguacate Hass.



Fuente: Agricultura & Ganadería [en línea] <https://www.agriculturayganaderia.com/website/estados-unidos-autoriza-apertura-de-mercado-para-el-guacate-hass-colombiano/>. [Consultado el 7 abril de 2019].

Es una fruta con un valor nutricional significativo con un contenido de agua de 75 % y un contenido de lípidos del 15 %. La composición lipídica se presenta en la tabla 1.

Tabla 1.Composición lipídica de la pulpa de aguacate Hass.

Ácido graso	Fracción
Palmítico	0.131
Palmitoléico	0.035
Estearico	0.008
Oléico	0.662
Linoléico	0.147
Otros	0.017

Fuente: Bernal, Jorge y Venezuela José. CONTENIDO DE LÍPIDOS Y COMPOSICIÓN RELATIVA DE LOS ÁCIDOS GRASOS EN PULPA DE AGUACATE 'HASS' COSECHADOS EN EL TRÓPICO ANDINO DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA.[consultado el 11 de abril]. Disponible: http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_389.pdf

1.5 BIODIÉSEL EN COLOMBIA

En Colombia, el aguacate se produce en su gran mayoría en el departamento de Antioquia. Las ventas externas de la fruta llegan a unos US\$ 35 millones al año, y

en volumen vienen creciendo a más de 200 % al año. Además, a raíz de los resultados del plan Colombia Siembra del Gobierno, que nació con el objetivo de sembrar un millón de hectáreas nuevas a nivel nacional, el país en los últimos tres años ha sumado 73.986 hectáreas de aguacate con una producción de 403.184 toneladas, principalmente de la variedad Hass.

Aunque se produce principalmente para consumo local, se utiliza para la industria cosmética y farmacéutica, Asimismo, los residuos de aguacate Hass que se generan son aproximadamente son 134.395 toneladas al año⁵, esto está ligado a factores como: el daño mecánico, que se presenta durante el proceso productivo (la cosecha, pos cosecha, transporte y empaque), el daño ocasionado por plagas, por la excesiva exposición al sol; entre otros⁶. Por consiguiente, se quiere aprovechar los residuos de plantas oleaginosas como materia prima para la obtención de biodiésel sin generar afectaciones a la industria alimenticia, en este caso se propone la semilla del aguacate, que constituye del 15 a 16 % del peso del fruto y dentro de su composición presenta ácidos grasos (en su mayor proporción el ácido oleico)⁷. Asimismo, se ha demostrado el poder calorífico que tiene la semilla de aguacate Hass, que es aproximadamente 19.145 mega julios por kilogramo⁸, lo que le otorga propiedades óptimas como fuente de energía.

Desde comienzos del presente siglo, Colombia se alinea a estas políticas mediante la construcción de algunos avales en el Concejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES 3510) está orientado a la industria de los biocombustibles y presenta lineamientos políticos orientados a estipular la producción sostenible de biocombustibles en Colombia.

⁵ PÉRDIDA Y DESPÉRDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA: Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas. [consultado 25 de abril]. Recuperado de: <https://mrv.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf>. 2016.

⁶ Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC)947-1. Frutas frescas Aguacate variedad hass. Especificaciones [Consultado 24 de abril de 2019]. Recuperado de: <<http://www.analdex.org/wp-content/uploads/2016/02/END-094.pdf>>. 2018.

⁷ Ceballos María Y Montoya Sandra. EVALUACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA EN SEMILLA, PULPA Y CÁSCARA DE TRES VARIEDADES DE AGUACATE. Biotecnología en el sector agropecuario Y AGROINDUSTRIAL.Vol11. [Consultado el 17 de abril de 2019]. Recuperado de: <<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a13.pdf>>. 2013.

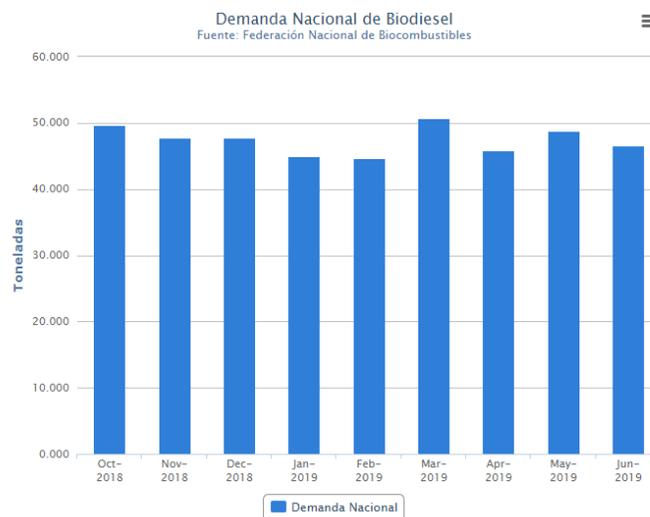
⁷ AGRONEGOCIOS. Aguacate hass llega a 15.530 hectáreas sembradas y 95.250 toneladas producidas en 2018. [Consultado 24 de abril de 2019]. Disponible en:

< <https://www.agronegocios.co/agricultura/aguacate-hass-llega-a-15530-hectareas-sembradas-y-95250-toneladas-producidas-en-2018-2742436> >.2018

⁸ Rico J. ENERGÍAS RENOVABLES. Es posible que el hueso del aguacate tenga un poder calorífico. [Consultado el 20 de abril de 2019]. Disponible en: <<https://www.energias-renovables.com/es-imposible-que-el-aguacate-tenga-un-20161208>>. 2016.

Además de la sanción de la ley 693⁹ que reglamente el uso de alcoholes carburantes en los combustibles. Asimismo, ya en el 2003 y 2004, Colombia sanciona las leyes 818 y 939¹⁰ que reglamenta la producción y comercialización de los combustibles de origen vegetal o animal para uso en motores tipo diésel. Este interés nacional está en línea con la preocupación mundial por contrarrestar el creciente cambio climático además de la autosuficiencia energética. Esto ha generado un incremento en la producción de biodiésel en el país (Gráfica1), de tal forma que, actualmente se cuenta con una capacidad instalada de 475.500 t anuales de bioetanol en seis plantas y 661.000 t por año de biodiésel en diez plantas. De estas capacidades instaladas, en 2015 se utilizó el 74,10% y el 77,66%, respectivamente¹¹.

Gráfica 1. Demanda nacional de Biodiésel.



Fuente: FedeBiocombustibles. [en línea]. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Biodiesel.htm>.

En la tabla 2, se relacionan las plantas productoras de biodiésel instaladas actualmente, la materia prima de generación es de caña de azúcar y aceite de palma y estas empresas se encuentran ubicadas en las ciudades de: Santa Marta, Facatativá, Barrancabermeja, San Carlos de Guaroa y Barranquilla. A pesar de la capacidad instalada de producción en plantas de biodiésel este aún no es suficiente para abastecer la demanda interna del país, por lo mismo no se ha realizado ninguna exportación.

⁹ Congreso De Colombia, “Ley 693 De Septiembre 19 De 2001,” no. 44, pp. 2–3, 2001.

¹⁰ C. de la republica de Colombia, “Ley 939 de 2004,” vol. 2004, no. diciembre 31, p. 3, 2004.

¹¹ Fedepalma, “Mercado de biocombustibles en Colombia,”[consultado el 5 de abril de 2019] . Recuperado de : <<http://www.palmadeaceite.org/>>.2018.

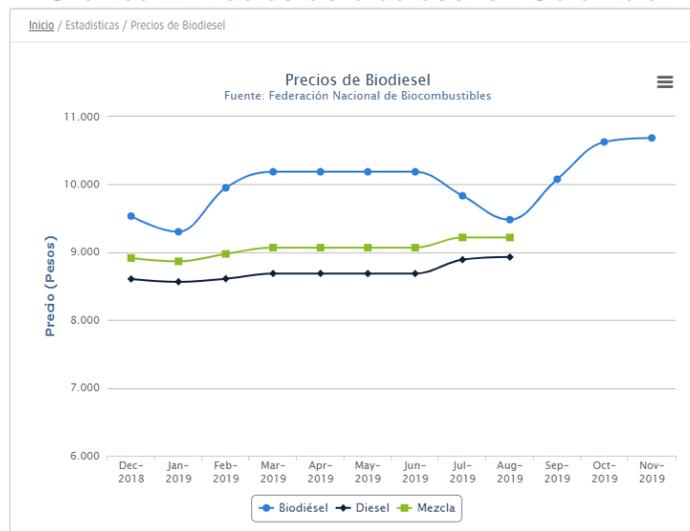
Tabla 2.Plantas productoras de biodiésel en Colombia.

Región	Empresa	Capacidad (ton/año)	Área sembrada (Ha)
Codazzi	Oleoflores	70.000	17.544
Santa Marta	Odin Energy	35.000	10.524
Santa marta	Biocombustibles sostenibles del caribe	170.000	29.240
Facatativa	Bio D	200.000	36.810
B/bermeja	Ecodiésel de Colombia	120.000	38.585
San Carlos de Guaroa	Aceites Manuelita	120.000	38.585
San Carlos de Guaroa	La Paz	70.000	21.472
Barranquilla	Romil de la costa	10.000	2.924
Gálapa	Biodiésel de la costa	10.000	2.924
Castilla la grande	Biocastilla	15.000	4.823
B/bermeja	ALPO	40.000	0
Santa Marta	BioCosta	70.000	0
Total		921.000	203.433

Fuente: Ministerio de minas y energía. [en línea]Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/>.

En la gráfica 2 se evidencia el comportamiento del costo de biodiésel, diésel y mezcla en el país en un rango de meses [dic 2018 a nov 2019]. El costo del diésel y mezcla mantienen una tendencia uniforme, a comparación al biodiésel que presenta cambios significativos en los meses de enero y agosto del 2019.

Gráfica 2. Precios de biodiésel en Colombia.



Fuente: FedeBiocombustibles. [en línea]. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-precios-titulo-Biodiesel.htm>.

1.6 ACEITE

Es una mezcla líquida a temperatura ambiente de triglicéridos con ácidos grasos de diferente número de carbonos.

Son insolubles en agua, pero solubles en disolventes como hexano, éter etc.

Se encuentran naturalmente en muchos alimentos como productos lácteos, carnes, aves, semillas oleaginosas entre otros.

1.6.1 Extracción y Refinación de aceites. Los aceites vegetales se encuentran principalmente en dos lugares de las células: en unos organelos lipídicos o conformando las membranas de la misma. Por tanto, el proceso de extracción de un aceite se basa en técnicas que permitan el rompimiento de estas membranas y su extracción del interior o de las mismas membranas. Este rompimiento se puede dar por dilución con solventes o empleando prensado mecánico. Aunque se están investigando técnicas para inducir energía que rompa las membranas por medio de microondas o ultrasonido, o que reacciones con enzimas.

Para la extracción con solventes, solventes de tipo apolar de baja viscosidad serían ideales para la extracción. Sin embargo, estos solventes pueden contaminar los aceites, y por ser comestibles, se vuelve prohibitivo su uso. Entonces, lo usual es emplear agua caliente o vapor para este proceso, aprovechando que la solubilidad de los lípidos en agua aumenta drásticamente con la temperatura.

Dentro de los mecanismos mecánicos, se emplean las prensas hidráulicas y las prensas de tornillo sin fin. Las ventajas de estas técnicas es que no requieren un aumento en la temperatura, evitando la degradación térmica de los triglicéridos.

Sin embargo, la cantidad extraída es menor que al emplear vapor o agua caliente. Por tanto, los aceites obtenidos por esta técnica, conocidos como aceites vírgenes (cuando tampoco se someten a refinación), son aceites de mayor calidad, pero más costosos de obtener al ser obtenidos por una técnica con menor rendimiento. Después de extraído el aceite, este se somete a un proceso de refinación, ya sea alcalino o físico. Esto con el fin de retirar impurezas de los aceites y otorgarle un aspecto más agradable en cuanto al color, olor y textura, a la vez que lo vuelve más estable a la oxidación.

El refinado alcalino consiste en un proceso de cuatro etapas, mientras que el refinado físico emplea solo la última etapa (desodorización).

1.6.2 Desgomado. Consiste en la extracción de los fosfolípidos y glucolípidos de los aceites. Este proceso se puede hacer mediante un lavado con pequeñas cantidades de agua caliente (alrededor de los 50 °C). En ocasiones persisten algunos fosfolípidos insolubles en agua (no son sales con una base nitrogenada, sino que son sales de calcio o magnesio). En estas ocasiones se adiciona una pequeña cantidad de un ácido débil, usualmente fosfórico o cítrico, con el fin de convertir los fosfolípidos insolubles en solubles.

1.6.3 Neutralización. Los aceites tienen pequeñas cantidades de ácidos carboxílicos, que durante la reacción de transesterificación pueden saponificar y conllevan a la creación de emulsiones que dificultan la separación de las fases al final del proceso. Esto se puede solucionar agregando un exceso de solución de hidróxido sódico y un posterior lavado, o haciendo una esterificación previa con metanol en un medio ácido para evitar la formación de jabones.

1.6.4 Blanqueamiento. Este paso se efectúa para retirar compuestos coloreados y para descomponer los hidroperóxidos. Se suele llevar a cabo mediante filtración, empleando tierras minerales naturales o activadas con ácidos.

1.6.5 Desodorización. Con el fin de eliminar algunos compuestos volátiles, tales como aldehídos y cetonas, responsables del olor y sabor a rancio en los aceites, se hace una destilación al vacío.

En el caso en que los aceites se requieran para fines comestibles, estas cuatro etapas de refinado son necesarias. Sin embargo, en el proceso de síntesis de biodiésel no interesan algunas etapas como el blanqueamiento y la desodorización.

Es así que las moléculas de ácidos grasos o ésteres con grupos alquílicos de cadena corta ofrecen energías de oxidación comparables con las del diésel original. En otras palabras, poseen similares poderes caloríficos. Además, al ser las cadenas parecidas salvo el grupo oxidado de la cadena del ácido carboxílico al final, las otras propiedades también lo son. Esta similitud ofrece la ventaja de no tener que hacer variaciones mecánicas significativas a un motor diésel que actualmente funcione con un combustible fósil.

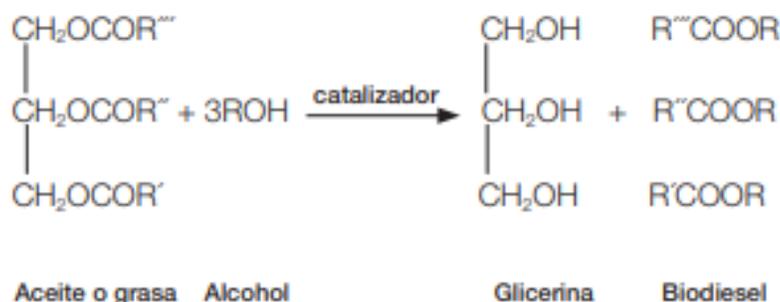
Los aceites que se suelen emplear en la transesterificación para la síntesis de biodiesel, son aquellos que contienen un alto contenido de ácidos grasos (especialmente el palmítico y oleico). Dichos ácidos se pueden encontrar en las plantas oleaginosas que no se han estudiado aún para este proceso, como lo es *Persea americana*.

1.7 EXTRACCIÓN DE ACEITE POR PENSADO.

Para la síntesis del aceite se parte de las semillas limpia para ser molidas en molinos y posteriormente pasan a un acondicionador con el fin de obtener una masa homogénea. Adicionalmente dicha masa pasa a una prensa de tornillo a una temperatura que no excede de los 60-80 °C, en donde se separa el aceite dejando una "torta proteica". Este proceso es viable pues no genera gastos energéticos elevados y mantiene la calidad del aceite, debido a que no se requiere ninguna transformación química.

1.8 TRANSESTERIFICACIÓN. La transesterificación es un tratamiento químico que consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol de bajo peso molecular como el metanol o el etanol ¹²(Imagen 4). Entonces, el rendimiento y tasa de reacción depende del tipo y variedad de triglicéridos presentes en el aceite vegetal, las condiciones de operación y el tipo de catalizador que puede ser básico, ácido o enzimático¹³.

Imagen 4.Reacción de transesterificación de un triglicérido.



Fuente: ¿Qué es la transesterificación? [en línea]. Recuperado de: <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-transesterificacion.html>. [Consultado el 20 abril de 2019].

¹² Fontalvo, M.El aceite de plama africana (*Elae guineensis*):Alternativa de recurso energético para la producción en Colombia y su impacto ambiental. UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO. [consultado 31 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Reaccion-de-transesterificacion-de-trigliceridos-Figura-1-Transesterification_fig1_273304247>2014.

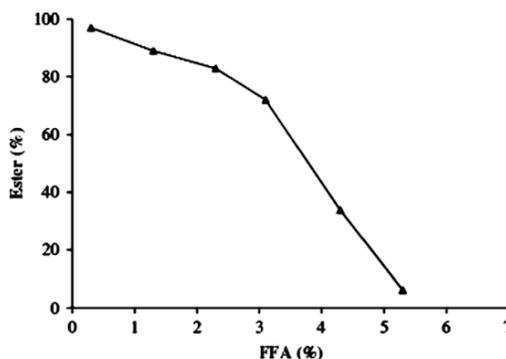
¹³ A. P. Vyas, J. L. Verma, and N. Subrahmanyam, "A review on FAME production processes," *Fuel*, vol. 89, no. 1,pp. 1–9, 2010.

Es así que las moléculas de ácidos grasos o ésteres con grupos alquílicos de cadena corta ofrecen energías de oxidación comparables con las del diésel original. En otras palabras, poseen similares poderes caloríficos. Además, al ser las cadenas parecidas¹⁴, salvo el grupo oxidado de la cadena del ácido carboxílico al final, las otras propiedades también lo son. Esta similitud ofrece la ventaja de no tener que hacer variaciones mecánicas significativas a un motor diésel que actualmente funcione con un combustible fósil

1.8.1 Variables más importantes que influyen en la reacción de transesterificación. En la reacción de transesterificación es necesario conocer las variables que intervienen en el proceso de síntesis de biodiésel afectando el rendimiento del éster de metilo.

1.8.1.1 Presencia de ácidos grasos. El contenido de ácidos grasos libres debe ser menor al 3% como se observa en la gráfica 3, debido a que durante el proceso de transesterificación alcalina los ácidos al reaccionar con el catalizador alcalino tienden a favorecer la producción de jabón, consumen el catalizador; influyendo de manera negativa en la separación de las fases de glicerina y biodiésel. Esto trae como consecuencia un rendimiento bajo en la formación del producto de interés.

Gráfica 3. Efecto de los ácidos grasos sobre el rendimiento de biodiesel en la reacción de transesterificación¹⁵



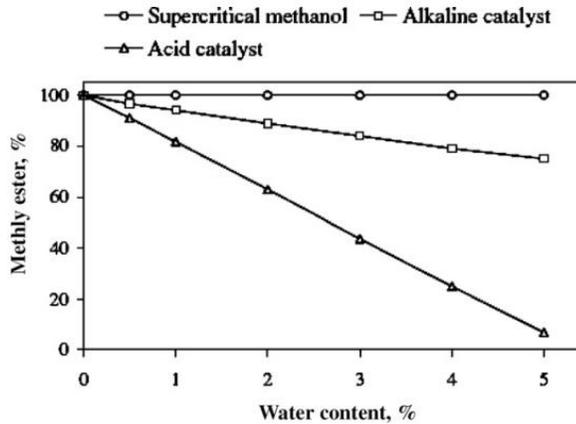
Fuente: Sharma, Singh y Upadhyay. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. 20 de febrero 2008; p.2355–2373.

¹⁴Cong, J. et al. Using canola Oil Biodiesel as an Alternative Fuel in Diesel Engines: A Review. Appl. Sci. 2017. [Consultado 18 de abril del 2019]. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2076-3417/7/9/881/htm#fig_body_display_applsci-07-00881-f008>.

¹⁵ Sharma, Singh y Upadhyay. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. 20 de febrero 2008; p.2355–2373.

1.8.1.2 Contenido de humedad. Si el contenido de agua es incluso del 0.1% afecta directamente la reacción de transesterificación como se observa en la gráfica 4, puesto que consume el catalizador, favoreciendo la reacción de saponificación; disminuyendo la conversión del éster afectando así mismo el rendimiento del producto final.

Gráfica 4. Efecto del contenido de humedad sobre el rendimiento de biodiésel en la reacción de transesterificación.



Fuente: Ibíd. 2364.

1.8.1.3 Temperatura de aceite. La temperatura a la que se calienta el aceite antes de mezclarlo con el catalizador y el alcohol, afecta la reacción. Un aumento de la temperatura del aceite afecta la calidad del mismo impidiendo una alta conversión.

1.8.1.4 Temperatura de reacción. La velocidad de reacción está fuertemente influenciada por la temperatura de reacción. Generalmente, la reacción se realiza cerca al punto de ebullición del alcohol utilizado a presión atmosférica.

Se produce el máximo rendimiento de ésteres a temperaturas que varían de 50°C a 60°C en una relación molar (alcohol a aceite) de 6:1. Con un aumento adicional de temperatura ocasiona efectos negativos en la conversión, debido a que disminuye la viscosidad del aceite, generando un aumento en la velocidad de reacción y como consecuencia se puede llegar a favorecer la reacción de saponificación.

1.8.1.5 Relación molar alcohol-aceite. La relación molar alcohol-aceite es una variable importante que afecta el rendimiento del biodiésel. Una relación molar 6:1 se usa con frecuencia en la industria para obtener rendimientos de éster metílico superiores al 98 por ciento en peso.

Una mayor relación molar de alcohol – aceite interfiere en la separación de glicerol.

Con respecto a varios autores, las relaciones molares más bajas requerían más tiempo de reacción. Con relaciones molares más altas, la conversión aumentó, pero la recuperación disminuyó, debido a que la separación del glicerol no fue totalmente. Por consiguiente, las relaciones molares adecuadas están supeditadas al tipo y la calidad del aceite.

1.8.1.6 Tipo de catalizador y concentración. Los alcóxidos de metales alcalinos son el catalizador de la reacción de transesterificación más efectivo en comparación con el catalizador ácido.

Los alcóxidos de sodio se encuentran entre los catalizadores más eficientes utilizados para este propósito, aunque también se usan el hidróxido de potasio y el hidróxido sodio.

La mayoría de las transesterificaciones se realizan con catalizadores alcalinos. La concentración de catalizador alcalino dentro de un rango de 0,5 a 1 por ciento en peso produce de 94 a 99 por ciento de conversión de aceite vegetal en ésteres. Por otro lado, el aumento en la concentración del catalizador no aumenta la conversión y se suma a los costos adicionales porque es necesario eliminarlo del medio al final de la reacción.

1.8.1.7 Intensidad de mezclado. El efecto de mezcla es significativo en la velocidad de reacción debido a que inicialmente se cuenta con dos fases a medida que se evidencia una única fase se hace insignificante el proceso de mezclado. La comprensión de los efectos de mezcla en la cinética del proceso de transesterificación es una herramienta clave en la ampliación del proceso y diseño.

1.8.1.8 Purezas de los reactivos. Las impurezas presentes en el aceite también afectan los niveles de conversión. Se puede obtener una conversión de biodiésel del 67 hasta el 84 por ciento usando aceites vegetales crudos; por el contrario, cuando se utilizan aceites refinados se puede llegar a alcanzar conversiones del 94 al 97 por ciento.

Tabla 3. Parámetros del biodiésel para mezcla con combustibles diésel.

Parámetro	Unidades	Especificación	Métodos de ensayo
Densidad a 15 °C	kg/m ³	860-900	ASTM D 4052 ISO 3675
Número de cetano	cetanos	47 mínimo	ASTM D 613 ISO 5165
Viscosidad (cinemática a 40°C)	mm ² /s	1,9 - 6,0	ASTM D 445 ISO 3104
contenido de agua	mg/kg	500 máximo	ASTM E 203 ISO 12837

Tabla 3. (Continuación)

Parámetro	Unidades	Especificación	Métodos de ensayo
Punto de inflamación	°C	120 mínimo	ASTM D 93 ; ISO 2719
Estabilidad a la oxidación	Horas	6 mínimo	EN 14112
Estabilidad térmica	% de reflectancia	70 % mínimo	ASTM D 6468
Cenizas sulfatadas	% en masa	0,02 máximo	ASTM D 874 ISO 3987
Número de ácido	mg de KOH /g	0,5 máximo	ASTM D 664 EN 1404
Carbón residual	% en masa	0,3 máximo	ASTM 4530 ISO 10370
Contenido de monoglicéridos	% en masa	0,8 máximo	ASTM D 6584 ISO 14105
Contenido de Diglicéridos	% en masa	0,2 máximo	ASTM D 6584 ISO 14106

Fuente: Norma técnica colombiana NTC 5444.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el siguiente capítulo se presenta la caracterización de la semilla del aguacate Hass. De acuerdo con una investigación previa con el fin de conocer los factores que interfieren en la obtención de aceites y posteriormente en la producción de biodiesel.

2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FRUTO

Las características del fruto se realizaron con un muestreo de 20 aguacates de la misma cosecha (Anexo A), según bibliografía consultada se seleccionaron aguacates con un estado de madurez que sobrepasa el 70% lo que impide el consumo del mismo; la madurez está relacionada con el color del aguacate en la figura 9 se evidencia los colores referentes, en este caso se seleccionan frutos que estén entre 4 y 5 respectivamente. En la etapa de maduración del fruto la cantidad de lípidos aumenta ligeramente¹⁶. Las dimensiones del fruto y la semilla se encuentran reportadas en la tabla 4; la semilla (imagen 5) constituye el 13,87% respecto al peso del fruto siendo esta el objeto de estudio.

Imagen 5. Semilla de aguacate Hass.



Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Dimensiones aguacate Hass.

Peso Fruto (g)	Peso cáscara (g)	Peso pulpa (g)	Peso semilla (g)	Largo fruto (cm)	Ancho fruto (cm)
133,15	18,18	94,89	18,48	7,69	5,09

Fuente: elaboración propia.

La dimensión de la semilla en un promedio de 20 aguacates fue de: Ancho (26,28 mm), Largo (33,60 mm). Estas fueron determinadas con un calibrador digital como se evidencia en la imagen 6

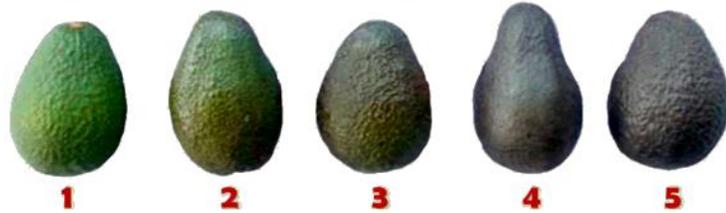
¹⁶Rico J. ENERGÍAS RENOVABLES. Es posible que el hueso del aguacate tenga un poder calorífico. [Consultado el 14 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/D-E-F/FernandezDiego1983.pdf>.2018

Imagen 6.Medición de las dimensiones de la semilla.



Fuente: elaboración propia

Imagen 7.Maduración del aguacate Hass.



Fuente: portal frutícola [en línea]
<<https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/04/12/postcosecha-de-la-palta-hass-guia-fotografica-de-los-atributos-de-calidad/>>.
[Consultado el 30 marzo de 2019].

2.2 PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS

2.2.1 Humedad. La determinación de humedad es una técnica importante en el procesado, control y conservación del fruto. Así mismo, es un índice de estabilidad del producto y un factor decisivo en muchos procesos industriales ya que, el contenido de agua de las materias primas influye en la calidad del producto deseado.

Existen diferentes métodos que establecen como debe realizarse el contenido de humedad, por facilidad, economía y porque es muy usado en semillas oleaginosas se eligió el método indirecto por volatilización, que se encuentra fundamentado en la norma ASTM E871 como se observa en el diagrama 1.

Para determinar el contenido de humedad, se seleccionaron 20 semillas de aguacate Hass de la misma cosecha. Este método se hizo tanto en base seca como en base húmeda el resultado se observa en la Imagen 8.

Diagrama 1.
Determinación de la
humedad en base seca



Fuente: elaboración propia.

Imagen 8. Semilla peso seco.

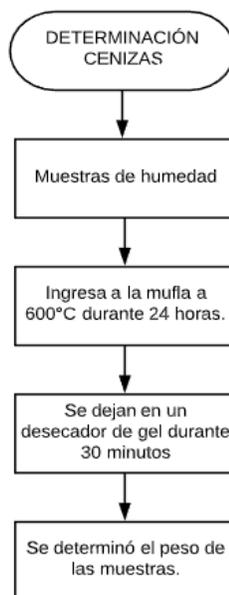


Fuente: elaboración propia.

2.2.2 Cenizas. Las cenizas es un parámetro analítico que representa los residuos inorgánicos presentes en este caso en la semilla de aguacate Hass, después de incinerarla.

Este método se hizo siguiendo la norma NTC 4431, en donde el agua y las sustancias volátiles son evaporadas, quedando las sustancias orgánicas presentes con minerales convertidos en óxidos.

Diagrama 2. Determinación de cenizas



Fuente: elaboración propia.

Imagen 9. Cenizas de la semilla.



Fuente: elaboración propia.

2.2.3 Lípidos. Son un grupo heterogéneo de sustancias orgánicas que tienen como particularidad ser moléculas no polares, insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos.

El contenido lipídico (que es el más importante), será estimado por una extracción Soxhlet, con hexano por 4 horas¹⁷. La implementación convencional de extractor

¹⁷ Cong, A.et al. A Standardized Method For Extraction of Lipids and Oxidation Characterization of

Soxhlet, la muestra se coloca en un dedal que se llena gradualmente con extractante fresco condensado (el término usado para referirse al solvente utilizado para la extracción) de un matraz de destilación, como se muestra en la imagen 10. Cuando el líquido alcanza el nivel de desbordamiento, un sifón lo aspira del dedal y lo descarga de nuevo dentro del matraz de destilación llevando así los analitos extraídos al líquido a granel. La operación se repite hasta que se logra la extracción completa. Esta actuación hace de Soxhlet una técnica híbrida continua-discontinua.

Imagen 10.Determinación de lípidos (Metodo Soxhlet).



Fuente: elaboración propia.

2.2.4 Índice de saponificación. El índice de saponificación representa los gramos de éster que se saponifican con un equivalente de NaOH; el peso molecular del éster puede hallarse multiplicando el equivalente de saponificación por el número de grupos éster presentes en la molécula.

El equivalente de saponificación se determinó por medio de una titulación que consiste en: disolver 3 g de KOH en 60ml de alcohol. En 2 erlenmeyers de 125 ml, colocar 25 ml exactamente medidos de la solución alcalina (25 en cada uno), añade a uno de ellos una muestra de 0,364 g del éster. El otro erlenmeyer se usa como blanco.

Se tituló con HCL, se agregaron dos gotas de fenolftaleína, a la solución problema hasta que esta se torna de color rosado (Imagen 11)

Retrieved UHMWPE Components Consultado 15 de abril del 2019]. Recuperado de: <<http://www.ors.org/Transactions/55/2308.pdf>>.

Imagen 11.Determinación del índice de saponificación.



Fuente: elaboración propia.

2.3 PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

En el siguiente capítulo se quiere abordar el tema relacionado con la extracción del aceite y posterior a esto la producción de biodiésel por el método de transesterificación variando condiciones de operación (temperatura, relación aceite-alcohol, y concentración de catalizador).

2.3.1 Diseño de experimentos. De acuerdo con la revisión bibliográfica se determinaron los factores más influyentes en el proceso de obtención de biodiésel teniendo en cuenta su interferencia el rendimiento del producto final.

Los experimentos se realizaron mediante un diseño factorial de 2^k que permite estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas. Se eligió un diseño factorial 2^3 el cual se basa en tres factores y dos niveles.

2.3.1.1 Selección de factores. En el proceso de transesterificación existen variables que pueden intervenir en el rendimiento del biocombustible, a continuación, se establecen los factores fijos y variables dentro del proceso.

➤ Factores Fijos:

Son factores que no van a variar en ninguno de los experimentos.

- Catalizador: Se empleó hidróxido de potasio (KOH) el cual favorece la conversión de biodiésel.
- Intensidad de mezclado: 500 rpm.
- Tipo de alcohol: Metanol debido a que presenta en su estructura pocos carbonos y es de bajo peso molecular.
- Tiempo de reacción: 2 horas.

➤ Factores Variables

Estos factores fueron determinados según la literatura como los parámetros más importantes a controlar durante la reacción de transesterificación, de ellos depende que el biodiesel obtenido posea un alto rendimiento.

- Temperatura de reacción: Se llevó a cabo a temperaturas de 50°C y 60°C evitando la evaporación del metanol.
 - Relación molar aceite-alcohol: se tomaron relaciones molares de 1:8 y 1:10.
 - Concentración de catalizador: se estableció dos concentraciones de 1% y 1.5%.
- Factor de respuesta:

Se seleccionó como variable de respuesta el rendimiento del biodiésel está ligado a los factores variables.

Tabla 5. Diseño factorial.

Factores		Niveles del factor	
		Bajo (-1)	Alto(+1)
A	Temperatura (°C)	50	60
B	Relación molar	1:8	1:10
C	Concentración del catalizador (%p/p)	1	1.5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6 Combinaciones del experimento

Corrida	Factores		
	A	B	C
1	50	1:8	1
2	60	1:8	1
3	50	1:10	1
4	60	1:10	1
5	50	1:8	1,5
6	60	1:8	1,5
7	50	1:1	1,5
8	60	1:1	1,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.Análisis de varianza.

Fuente	GL	SC.Adjust	Mc Adjust	Valor F	Valor P
Modelo	7	1971,47	281,64	129,04	0,000
Lineal	3	1854,15	618,05	283,19	0,000
Temperatura	1	34,61	34,61	15,86	0,004
Relación Molar	1	1218,92	1218,92	558,5	0,000
Catalizador (%)	1	600,62	600,62	275,2	0,000
Interacciones de dos términos	3	109,46	36,49	16,72	0,001
Temperatura * Relación molar	1	0,29	0,29	0,13	0,727
Temperatura * Catalizador (%)	1	7,94	7,94	3,64	0,093
Relación Molar * Catalizador (%)	1	101,24	101,24	46,39	0,000
Interacciones de tres términos	1	7,86	7,86	3,6	0,094
Temperatura*Relación molar *Catalizador (%)	1	7,86	7,86	3,6	0,094
Error	8	17,46	2,18		

Fuente: elaboración propia.

Con los valores de p que sobrepasan el valor de confiabilidad (0,05) se rechaza la hipótesis nula, indicando que los factores de relación molar, concentración de catalizador y temperatura son relevantes y generan cambios en el rendimiento del biodiésel.

2.4 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

En esta sección se evaluará dos métodos: extracción por solvente (Soxhlet) y prensado mecánico (prensa de tornillo sin fin), los cuales se realizaron a nivel laboratorio, posteriormente serán comparados en cuanto a rendimientos en la obtención del aceite.

2.4.1 Extracción por solvente soxhlet. Se realizó con un equipo extractor Soxhlet como se observa en la imagen 12, el proceso se lleva a cabo mediante un arrastre por solvente en este caso se utilizó Hexano al 98%, por un periodo de 4 horas, posteriormente se realizó una destilación al vacío para lograr la separación del aceite y el hexano.

Imagen 12.Equipo extractor Soxhlet.



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente se realizó una extracción de aceite de la torta que es el residuo que sale de la presa mecánica como se evidencia en la imagen 13, con el fin de determinar si dicho residuo puede aprovecharse para obtener una cantidad de aceite considerable.

Imagen 13. Aceite obtenido de

la torta por extracción Soxhlet.



Fuente: elaboración propia.

2.4.2 Extracción de aceite por prensado mecánico. Un proceso de prensado consiste en esforzar el tejido para producir el rompiendo de los tejidos celulares, extrayendo el aceite que hay en el medio. Este proceso se realizó con una prensa mecánica de tornillo sin fin como se observa en la imagen 14; se trata de una maquina independiente en cuyo armazón se encuentra el aparato de prensa, el motor principal y la transportadora de entrada. El aparato de prensa consta de unas láminas localizadas en el eje del tornillo, como se cambia la forma del tornillo las semillas son comprimidas en el interior de la prensa y así permitiendo la extracción del aceite. En la tabla 8 se presenta la adecuación de la materia prima.

Tabla 8.Adecuación de la materia prima para la prensa.

Semilla	Adecuación de la muestra	Peso muestra (g)	Prensado
Seca	24 horas (105 °C)	70	Frío
		70	Caliente
	4 horas (105 °C)	70	Frío
		70	Caliente
	0,1666 horas (105°C)	70	Frío
		70	Caliente
Húmeda	inmediatamente por la prensa	70	Frío
			Caliente

Fuente: elaboración propia.

Imagen 14.Extracción de aceite mediante la prensa mecánica.



Fuente: elaboración propia.

2.4.3 Tratamiento del aceite. Para asegurar la calidad del aceite se debe realizar un desgomado, y para verificar que el aceite es adecuado para la fase de transesterificación se realiza una prueba fisicoquímica (acidez).

2.4.3.1 Desgomado. El desgomado consiste en un lavado con agua, la cantidad de agua se determina con el 5 % con respecto al peso del aceite, esto con el fin de retirar impurezas presentes como los fosfolípidos. En la imagen 15.

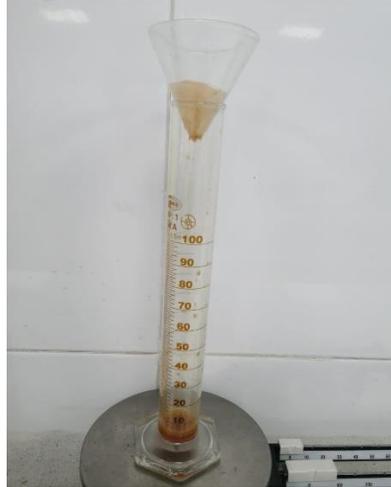
Imagen 15.Desgomado del aceite.



Fuente: elaboración propia.

2.4.3.2 Filtrado. Con el fin de retirar las partículas resultantes del desgomado, junto con los residuos provenientes de la prensa mecánica, se filtra el aceite con un papel filtro como se evidencia en la imagen 16.

Imagen 16.Filtrado del aceite.



Fuente: elaboración propia

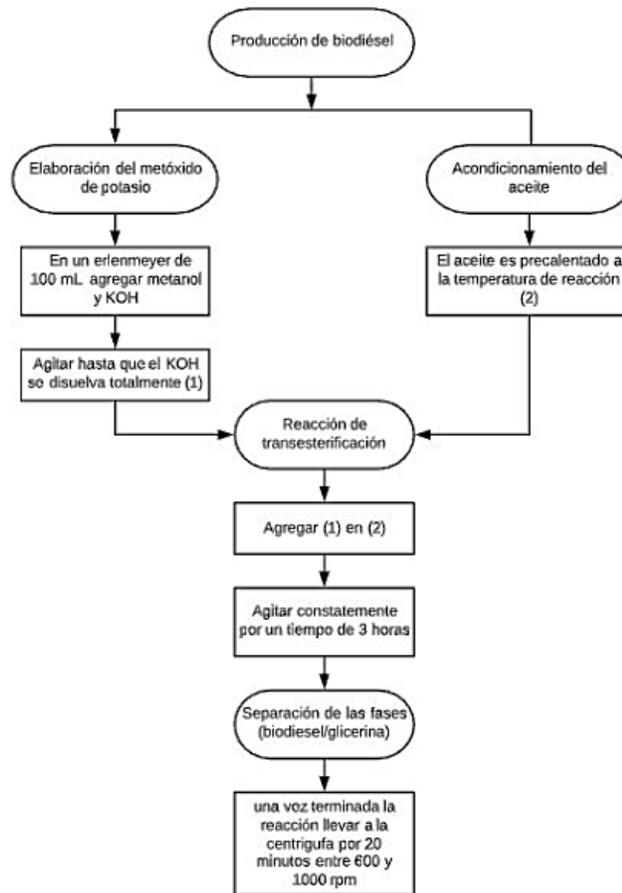
2.4.3.3 Secado del aceite. Debido a que el aceite no puede contener agua por encima de 0,01% se debe retirar, esto se hace mediante un secado en un horno a una temperatura de 90°C por un tiempo de 3 horas, la temperatura no debe elevarse más de 105 °C debido a que esto afectaría la calidad del aceite.

2.4.3.4 Acidez del aceite. La acidez es un indicador que me permite saber si el aceite esta con las condiciones para pasar a la etapa de transesterificación, de no ser así se debe realizar una esterificación, que consiste agregar el 1% p/p del aceite con metanol en agitación constante por un periodo de 24 horas. Por medio de una titulación acido-base se determina la acidez.

2.5 ETAPA DE TRANSESTERIFICACIÓN. Para llevar a cabo la reacción de transesterificación se realizó el siguiente procedimiento evidenciado en el diagrama 1, el cual muestra el paso a paso para la elaboración de biodiésel ¹⁸. Por otra parte, es importante reconocer que el rendimiento y tasa de reacción depende del tipo y variedad de triglicéridos presentes en el aceite vegetal, las condiciones de operación y el tipo de catalizador que puede ser básico, ácido o enzimático.

¹⁸ Fontalvo, M.El aceite de plama africana (*Elae guineensis*):Alternativa de recurso energético para la producción en Colombia y su impacto ambiental. UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO. [consultado 31 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Reaccion-de-transesterificacion-de-trigliceridos-Figura-1-Transesterification_fig1_273304247>2014.

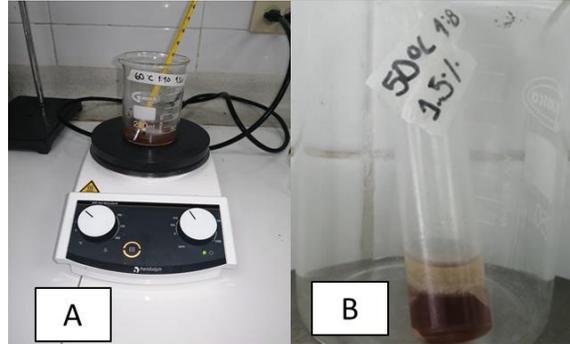
Diagrama 1. Producción de biodiésel a nivel laboratorio.



Fuente: elaboración propia.

Para la síntesis de biodiésel se tomaron muestras de 10 g de aceite y se colocaron en un Baker para posteriormente ser calentado. Se determinó la relación molar alcohol- aceite para conocer la cantidad de metanol a agregar (Anexo B) y se pesaron los gramos de KOH dependiendo del porcentaje de concentración a utilizar (Anexo 1). Mientras el aceite se está calentado, se prepara la solución de metóxido; una vez alcanzada la temperatura de reacción se adiciona la solución de metóxido lentamente al aceite y se lleva a cabo un control de temperatura para evitar que el metanol se evapore y no se lleve a cabo la reacción de transesterificación (Imagen 17 A). Se deja reaccionando el aceite con el metóxido con agitación continua a 600 rpm durante un periodo de 3 horas aproximadamente, luego se realiza la separación de las fases por el método de centrifugación por 20 minutos (Imagen 17 B).

Imagen 17.Elaboración del biodiésel escala laboratorio.



- A) Proceso de elaboración del Biodiésel.
- B) Fases de biosiésel (parte superior) y glicerina (parte inferior)

Fuente: elaboración propia.

2.6 CARACTERIZACIÓN DEL BIODIÉSEL

2.6.1 Viscosidad cinemática. La viscosidad es una medida de la fricción interna entre las moléculas, es decir la resistencia a fluir de los líquidos. El montaje del equipo (imagen 18) consiste en un termómetro de vidrio, un termómetro digital, un viscosímetro capilar calibrado, un controlador de temperatura y un sistema de recirculación de agua como medio de calentamiento. Se determinó mediante la norma ASTM D445.

Este parámetro es de suma importancia ya que la mezcla del combustible con biodiésel debe poseer una viscosidad mínima para evitar fugas en las bombas de inyección y en inyector. Por otra parte, una alta viscosidad afecta la atomización del combustible generando una mala combustión y formación de depósitos en el motor y también puede facilitar la dilución del lubricante.

Imagen 18.Montaje para la determinación viscosidad cinemática.



Fuente: elaboración propia.

2.6.2 Densidad. Se determinó usando un picnómetro que es un frasco de vidrio de volumen exacto y conocido (imagen 19). La densidad está influenciada directamente por el tipo de aceite que usa como materia prima. Al incrementar la densidad, aumenta la instauración. Esta medida se debe encontrar dentro de los rangos establecidos de no ser así puede afectar el poder calorífico y el consumo del combustible.

Imagen 19.Densidad del biodiésel.



Fuente: elaboración propia.

2.6.3 Cenizas sulfatadas. El contenido de cenizas presentes en el biodiesel se presenta por solidos abrasivos, catalizadores no eliminados que generan desgaste en el inyector, bomba de inyección, pistón, además de contribuir a la formación de depósitos en el motor. Este parámetro se determino por la norma ASTM D874 para determinar el contenido de cenizas se pesaron 1 gramos de la muestra y se dejaron en una mufla por un periodo de 24 horas y una temperatura de 600 °C esto con el fin de oxidar completamente el carbón presente, posteriormente a las cenizas que quedan se le agrega ácido sulfúrico 98% y se vuelve a calcinar a 600 °C por 24 horas, luego se dejaron en un desecador por media hora y se procede a pesar la muestra (Imagen 20).

Imagen 20. Determinación de cenizas sulfatadas.



Fuente: elaboración propia.

2.6.4 Índice de acidez. El índice de acidez representa el número de mg de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos de 1 g de aceite. Se determinó usando la norma ASTM D664. Un valor elevado de acidez ocasiona la corrosión en diversas partes del motor y aumenta la velocidad y degradación del biodiésel.

2.6.5 Punto de inflamación. El punto de inflamación es la temperatura mínima a la cual los vapores del combustible se hacen inflamables. Este parámetro fue determinado por medio de la norma ASTM D93, su importancia radica en que es indispensable para la seguridad industrial. Cuando se presentan bajos puntos de inflamación indica la presencia de alcohol residual en el biodiésel.

Para la determinación del análisis se tomó un gramo de muestra y a agitación constante se comenzó a incrementar la temperatura constante, en intervalos de temperatura de 30°C se somete la muestra a una fuente de ignición, con el fin de que los vapores entre en ignición con la llama (Imagen 21).

Imagen 21.Determinación del punto de inflamación.



Fuente: elaboración propia.

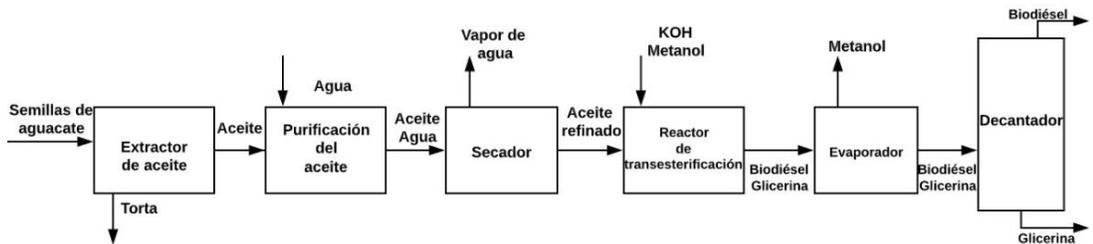
Se obtuvo biodiésel el cual fue evaluado mediante un diseño de experimentos a diferentes condiciones de operación. Se procede a realizar un escalamiento con los parámetros que proporcionaron un mejor rendimiento.

3. ESCALAMIENTO PLANTA PILOTO

En el siguiente capítulo se presenta un escalamiento de nivel laboratorio a planta piloto. Donde a partir de los datos obtenidos en la experimentación se seleccionan tres variables (concentración de catalizador, temperatura y relación molar alcohol: aceite) fundamentales para obtener un alto rendimiento de biocombustible.

En el Diagrama 2 se presenta el proceso de producción de biodiésel, el primer paso es la extracción del aceite que se va a llevar mediante una prensa mecánica, el aceite sale con impurezas, por ende, se le debe realizar una purificación para retirar compuestos como fosfolípidos, seguido de esto se lleva al reactor de transesterificación donde va a ocurrir la reacción, se procede a retirar el metanol que se recircula al reactor, y el último paso es separar el biodiésel de la glicerina.

Diagrama 2. Esquema general del proceso de producción de biodiésel (PBD)



Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Corrientes de proceso en la síntesis de Biodiésel.

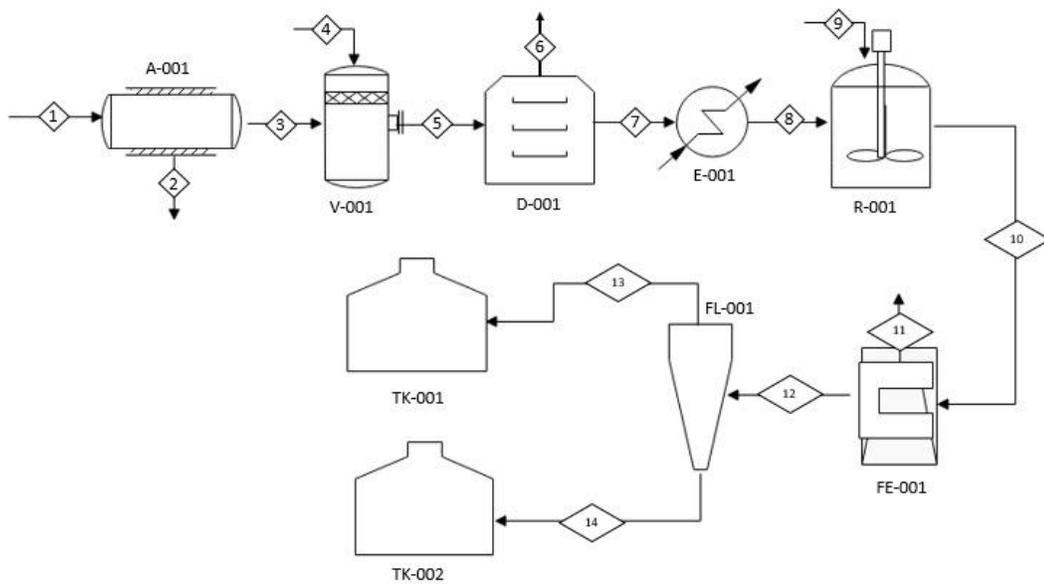
Corriente	Nombre
M1	Semillas de aguacate
M2	Torta
M3	Aceite con impurezas
M4	Agua 70 °C
M5	Aceite y agua
M6	Vapor de agua
M7	Aceite refinado
M8	KOH y Metanol
M9	Biodiésel y glicerina
M10	Metanol
M11	Biodiésel y glicerina
M12	Glicerina
M13	Biodiésel

Fuente: elaboración propia.

3.1 DIAGRAMA PFD.

Dentro un diagrama PFD se encuentra una representación esquemática del proceso, el cual ilustra las relaciones entre los principales componentes de una planta, uno de los propósitos es el documentar un proceso con el fin de lograr una mejora en la comprensión, control de calidad ¹⁹. Un PDF debe incluir: Proceso de tuberías, símbolos de equipos principales nombres y números de identificación, principales líneas de derivación y recirculación²⁰.

Diagrama 3.Diagrama PFD de producción de biodiésel.



Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Especificación de equipos en el PFD.

Equipo	Nomenclatura
Prensa Mecánica	A-001
Purificador	V-001
Secador	H-001
Intercambiador	E-001
Reactor Batch	R-001

¹⁹Lucid chart.[en línea].[citado 20 septiembre de 2019].Disponible en: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo-de-procesos#section_0>

²⁰ The engineering toolbox. [citado el 20 septiembre de 2019]. Recuperado de: <https://www.engineeringtoolbox.com/pfd-process-flow-diagram-d_465.html>

Cuadro 3. (Continuación)

Equipo	Nomenclatura
Evaporador	FE-001
Decantador	FL-001
Tanque biodiésel	TK-001
Tanque glicerina	TK-002

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Identificación de corrientes del proceso.

Corriente	Nombre de la corriente	T
1	Semillas de aguacate	18°C
2	Torta	18°C
3	Aceite con residuos	18°C
4	Agua	70 °C
5	Aceite con agua	70°C
6	Vapor de agua	90°C
7	Aceite refinado	90°C
8	Aceite refinado	60°C
9	Metóxido	18°C
10	Biodiésel con impurezas y glicerina	18°C
11	Metanol	30°C
12	Biodésel y glicerina	18°C
13	Biodiésel	18°C
14	Glicerina	18°C

Fuente: elaboración propia.

3.2 BALANCE

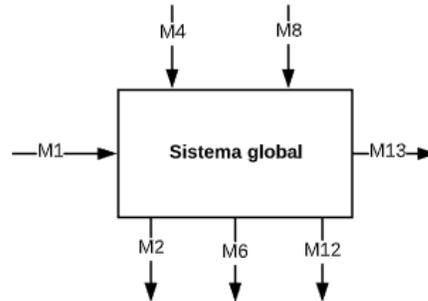
El planteamiento de estos elementos se realizó dependiendo del diseño de experimentos donde se determinaron las condiciones en las que el rendimiento de biodiésel es más alto.

Por otra parte, se determinaron las cantidades de materia prima necesarias en cada operación unitaria, uno de los equipos más importantes dentro de la planta es el reactor de transesterificación ya que, en este ocurre la reacción, si no se establecen las condiciones de temperatura y agitación adecuadas no se puede alcanzar una alta conversión y se verá afectada la calidad del biocombustible.

En este capítulo se tendrá en cuenta para los balances de materia una base de cálculo de 10000 kg mensuales de semilla de aguacate, de acuerdo a esta información se desarrollará los balances por operación unitaria del proceso. Así mismo, se realizará un estudio preliminar de la dimensión del reactor.

3.2.1 Balance global del sistema. El balance global del proceso está representado en el diagrama 3 donde se evidencian las corrientes de entradas y salidas.

Diagrama 4. Sistema global de la síntesis de biodiésel.



Fuente: elaboración propia.

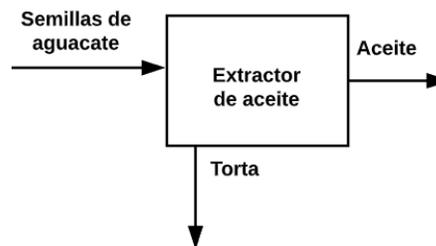
Ecuación 1. Balance del sistema global (entradas y salidas).

$$M1 + M4 + M8 = M2 + M6 + M12 + M13$$

3.2.2 Balance por operación unitaria

3.2.2.1 Extracción del aceite

Diagrama 5. Operación unitaria extracción del aceite.



Fuente: Elaboración propia.

La extracción se realiza en una prensa mecánica, el presando se realiza en frío.

Ecuación 2. Balance de la extracción del aceite.

$$M1 = M2 + M3$$

De acuerdo a la base de cálculo tomada anteriormente entran 10000 kg al mes, los días de operación de la planta al mes son 22 días.

$$M1 = 10000 \frac{kg}{mes} * \left(\frac{1 mes}{22 días}\right) * \left(\frac{1 día}{8h}\right) = 56,82 \frac{kg}{h}$$

Teniendo en cuenta los datos experimentales y sabiendo que el aceite obtenido por la extracción mecánica es muy bajo; la cantidad de semillas que se necesitan para obtener 100 g de aceite sería de 593,95 g de semilla.

$$M3 = \frac{0,1 kg aceite}{0,59395 kg de semilla} * 10000 = 1683,64 \frac{kg aceite}{mes} * \left(\frac{1 mes}{22 días}\right) * \left(\frac{1 días}{8h}\right)$$

$$M3 = 9,57 \frac{kg aceite}{h}$$

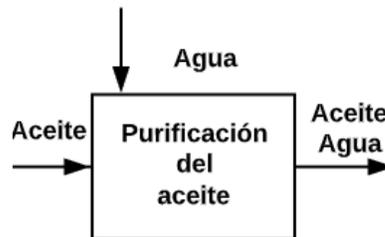
Se determina el valor de M2, usando la ecuación 2:

$$M2 = M1 - M3$$

$$M2 = 56,82 \frac{kg}{h} - 9,57 \frac{kg}{h} = 47,25 \frac{kg}{h}$$

3.2.2.2 Purificación del aceite

Diagrama 6. Operación unitaria para la purificación del aceite.



Fuente: elaboración propia.

Ecuación 3. Balance purificación del aceite

$$M3 + M4 = M5$$

Para que el aceite pueda pasar a la etapa de transesterificación se debe realizar un desgomado con agua caliente el porcentaje de agua a agregar es 5% respecto al peso obtenido del aceite.

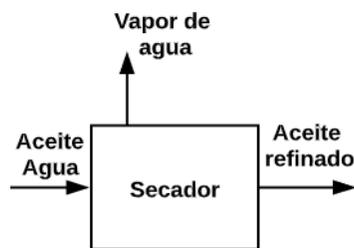
$$M4 = 9,57 \frac{kg}{h} * 0,05 = 0,48 \frac{kg}{h}$$

Se procede a determinar el valor de M5:

$$M5 = 9,57 \frac{kg}{h} + 0,48 \frac{kg}{h} = 10,05 \frac{kg}{h}$$

3.2.2.3 Secador

Diagrama 7. Operación unitaria secador.



Fuente: elaboración propia.

Ecuación 4. Balance del proceso de secado.

$$M5 = M6 + M7$$

En esta unidad de proceso se pretende retirar la humedad que contenga el aceite. Entra un flujo de aceite de 10,05 kg/h con un contenido de humedad 60%. Al final del proceso de acuerdo a la resolución 2154 de 2012 el contenido de humedad permitido para un aceite es de 0,1%.²¹

$$\text{agua que ingresa en el aceite} = 10,05 \frac{kg}{h} * 0,6 + 0,48 \frac{kg}{h} = 6,51 \frac{kg}{h}$$

$$\text{aceite seco} = 10,05 \frac{kg}{h} - 6,51 \frac{kg}{h} = 3,54 \frac{kg}{h}$$

$$\text{agua residual en el aceite} = \left(\frac{0,1kg \text{ agua}}{100 \text{ kg aceite seco}} \right) * 3,54 \frac{kg \text{ de aceite seco}}{h} =$$

²¹ RESOLUCION 2154 DE 2012 (agosto 2) D.O. 48.516, agosto 8 de 2012. [Consultado el 17 de octubre de 2019]. Recuperado :<<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2154-de-2012.pdf>>

$$3,54 \times 10^{-3} \frac{kg \text{ agua}}{h}$$

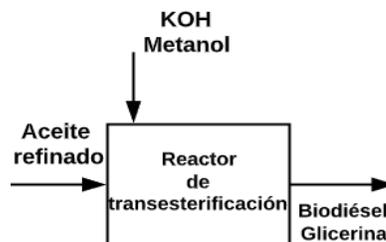
$$M7 = 3,54 \frac{g}{h} + 3,54 \times 10^{-3} \frac{kg}{h} = 3,54 \frac{kg}{h}$$

Se obtiene la corriente de salida del vapor:

$$M6 = 10,05 \frac{kg}{h} - 3,54 \frac{kg}{h} = 6,51 \frac{kg}{h}$$

3.2.2.4 Reactor de transesterificación. Esta operación unitaria es en la que se debe tener más controlada puesto que si algo no está dentro de los rangos de aceptación de biodiésel, la producción del mismo no va a tener una buena calidad, o se puede llegar a saponificar.

Diagrama 8. Reacción de transesterificación.



Fuente: elaboración propia.

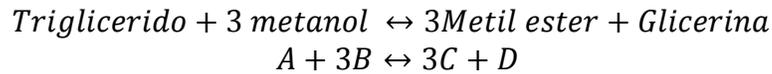
Diagrama 9. Balance para el reactor.

$$M7 + M8 = M9$$

Parámetros de entrada: Estas condiciones fueron determinadas mediante el diseño de experimentos.

- Temperatura de reacción: 60 °C
- Concentración de catalizador: 1.5%
- Relación molar metanol-aceite: 10:1
- Con respecto a las variables especificadas anteriormente se tiene el valor de M8:

$$M8 = 4,82 \frac{kg}{h}$$



De la reacción de transesterificación es exotérmica²² esto debido a que hay un rompimiento de enlaces, esto permite que se libere energía.

Según la relación molar metanol: aceite se deduce la ecuación 5.

Ecuación 5. Relación molar.

$$10n_A = n_B$$

Ecuación 6. Balance de materia en el reactor

$$n_A = n_A^\circ - \varepsilon$$

$$n_B = n_B^\circ - 3\varepsilon$$

$$n_C = n_C^\circ + \varepsilon$$

$$n_D = n_D^\circ + \varepsilon$$

Donde ε es un avance teórico.

Para poder determinar cuál es el reactivo límite se va a emplear la ecuación 7 aunque por heurística se puede decir que es el aceite.

Ecuación 7. Determinación del reactivo límite.

$$Rl = \frac{n_i}{\nu_i}$$

Donde: n_i son las moles iniciales y ν_i coeficiente estequiométrico.

Para empezar a solucionar las ecuaciones anteriormente planteadas se procede a determinar los siguientes términos:

²² TORRES-RIVERO, Ligia, et al. Efecto de la temperatura y del tiempo de reacción sobre la esterificación y la transesterificación de aceites comestibles usados. Noviembre 05, 2017. Vol.4 No.13, 19-35. [en línea]. Recuperado de:

http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol4num13/Revista_de_Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias_V4_N13_3.pdf.

$$n^{\circ}_A = \left(3,54 \frac{kg}{h}\right) \left(\frac{1 kmol}{230,33 kg}\right) = 0,015 \frac{kmol}{h}$$

De acuerdo con la ecuación 5 , se obtiene el valor de n°_B :

$$n^{\circ}_B = 0,015 \frac{kmol}{h} * 10 = 0,15 \frac{kmol}{h}$$

Teniendo en cuenta los resultados experimentales se establece la siguiente relación:

$$\frac{7,05 * 10^{-3} kg \text{ de biodiésel}}{0,01 kg \text{ de aceite}} * 3,54 \frac{kg \text{ de aceite}}{h} = 2,50 \frac{kg \text{ de biodiésel}}{h}$$

Se determina ε :

$$n_C = n^{\circ}_C + \varepsilon$$

$$2,50 \frac{kg \text{ de biodiésel}}{h} * \left(\frac{1 kmol}{282,47 kg \text{ de biodiésel}}\right) = 0 + \varepsilon$$

$$\varepsilon = \left(\frac{8,85 * 10^{-3} \frac{kmol}{h}}{3}\right) = 2,95 * 10^{-3} \frac{kmol}{h}$$

Una vez se determinó el valor del avance teórico se calcula las variables desconocidas que faltan.

$$n_A = 0,015 \frac{kmol}{h} - 2,95 * 10^{-3} \frac{kmol}{h} = 0,012 \frac{kmol}{h}$$

$$n_B = 0,15 \frac{kmol}{h} - \left(3 * 2,95 * 10^{-3} \frac{kmol}{h}\right) = 0,14 \frac{kmol}{h}$$

$$n_C = 0 + 3 * 2,95 * 10^{-3} \frac{kmol}{h} = 8,85 * 10^{-3} \frac{kmol}{h}$$

$$n_D = 0 + 2,95 * 10^{-3} \frac{kmol}{h} = 2,95 * 10^{-3} \frac{kmol}{h}$$

Tabla 10.Tabla estequiométrica.

	A	B	C	D
$n^{\circ}i$	n°_A	n°_B	n°_C	n°_D
$n^{\circ}eq$	$n^{\circ}_A - n^{\circ}_{AX}$	$n^{\circ}_B - 3n^{\circ}_{AX}$	$n^{\circ}_C + 3n^{\circ}_{AX}$	$n^{\circ}_D + n^{\circ}_{AX}$
Xeq	$\frac{n^{\circ}_A(1-x)}{nT^{\circ}}$	$\frac{n^{\circ}_B - 3n^{\circ}_{AX}}{nT^{\circ}}$	$\frac{n^{\circ}_C + 3n^{\circ}_{AX}}{nT^{\circ}}$	$\frac{n^{\circ}_D + n^{\circ}_{AX}}{nT^{\circ}}$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 8.Constante de equilibrio a partir de la productoría.

$$K = \prod a_i^{v_i}$$

Fuente: Smith J.M. Chemical Engineering kinetics. 6ed.Mexico. McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1991.767p. ISBN-0-07-058710-8.

A continuación, se presenta la deducción de la ecuación 8.

$$K = \prod (x_i * P)^{v_i}$$

$$K = \prod (x_i)^{v_i} * P^{\Delta v}$$

$$K = \frac{\prod (x_i)_P^{v_i}}{\prod (x_i)_R^{v_i}} * P^{\Delta v}$$

$$K = \frac{\left(\frac{n^{\circ}_C - 3n^{\circ}_{AX}}{n_T}\right)^3 \left(\frac{n^{\circ}_D - n^{\circ}_{AX}}{n_T}\right)}{\left(\frac{n^{\circ}_A - n^{\circ}_{AX}}{n_T}\right) \left(\frac{n^{\circ}_B - 3n^{\circ}_{AX}}{n_T}\right)^3} P^{\circ}$$

$$K = \frac{(n^{\circ}_C - 3n^{\circ}_{AX})^3 (n^{\circ}_D - n^{\circ}_{AX})}{(n^{\circ}_A - n^{\circ}_{AX})(n^{\circ}_B - 3n^{\circ}_{AX})^3}$$

A partir de los datos ya obtenidos del balance de materia se procede a determinar la conversión en el reactor expresada en la ecuación 9.

Ecuación 9. Conversión.

$$x = \frac{\varepsilon}{n_A^o}$$

Fuente: Felder. Principios elementales de los procesos químicos. 3ed. Mexico. Limusa Wiley, 2004. 686p. ISBN-968-18-6169-8.

$$x = \frac{2,95 \times 10^{-3}}{0,015} = 0,20$$

Teniendo el valor de la conversión se reemplaza en la ecuación como resultado de la deducción es:

$$K = \frac{(0 - 3 * 0,015 * 0,20)^3 (0 - 0,015 * 0,20)}{(0,015 - 0,015 * 0,20)(0,15 - 3 * 0,015 * 0,20)^3} = 6,034 \times 10^{-5}$$

Como el valor de la constante es < 1 quiere decir que el equilibrio esta desplazado a la izquierda y predomina los reactivos.

3.2.2.4.1 Volumen del reactor. Para culminar el escalamiento de la planta piloto en el reactor, se tomó como parámetro importante el volumen del reactor. El reactor seleccionado es un batch porque estos reactores siempre se manejan en equilibrio.

La solución se va a tomar como ideal por tal razón, se plantea la siguiente ecuación

Ecuación 10. Constante de equilibrio

$$K = \sum a_i^{v_i} = \sum (f_i^o \gamma_i)^{v_i}$$

Fuente: Smith J.M. Chemical Engineering kinetics. 6ed. Mexico. McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1991. 767p. ISBN-0-07-058710-8.

Para compuestos puros $f_i^o = 1$ en fase líquida, v_i es el número estequiométrico, γ_i es el coeficiente de actividad ideal representado en la ecuación 11.

Ecuación 11. Fugacidad para mezclas líquidas

$$\gamma_i = X_i P$$

Fuente: Smith J.M. Termodinámica molecular de los equilibrios de fases. 3ed. Madrid. PRETINCE HALL IBERIA, 2000. 728p. ISBN-84-205-2996-6.

$$\Delta v_i = -3 - 1 + 3 + 1 = 0$$

Como el $\Delta v_i = 0$ no existe un cambio de moles. Por lo tanto, el volumen del reactor viene dado por la siguiente ecuación.

Ecuación 12. Volumen del reactor.

$$V_{\text{reactor}} = V_1 + V_2 + V_3$$

Donde:

$$V_1 = \frac{m_A}{\rho_A} = \frac{3,54 \text{ kg}}{894,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4,013 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

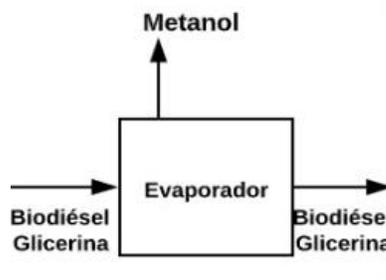
$$V_2 = \frac{m_B}{\rho_B} = \frac{4,806 \text{ kg}}{792 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6,068 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{m_{\text{Catalizador}}}{\rho_{\text{Catalizador}}} = \frac{0,012 \text{ kg}}{2040 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6,19 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 0,01 \text{ m}^3 * \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right) = 10,09 \text{ L}$$

3.2.2.5 Operación unitaria de evaporación

Diagrama 10. Operación unitaria del evaporador.



Fuente: elaboración propia.

$$M_9 = M_{10} + M_{11}$$

Donde:

$$M9 = M7 + M8$$

$$M9 = 3,54 \frac{kg}{h} + 4,82 \frac{kg}{h} = 8,36 \frac{kg}{h}$$

Según el desarrollo experimental el metanol no se evapora por completo, llegando a un 85% de evaporación. Por lo tanto

$$4,806 * 85\% = 4,09 \frac{kg}{h}$$

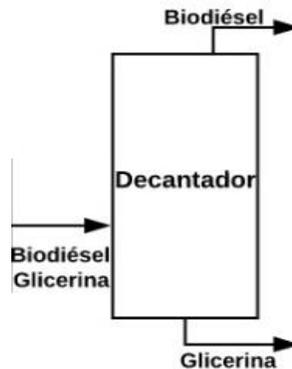
$$M11 = 8,36 \frac{kg}{h} - 4,09 \frac{kg}{h} = 4,27 \frac{kg}{h}$$

Por ende:

$$M10 = 8,36 \frac{kg}{h} - 4,27 \frac{kg}{h} = 4,09 \frac{kg}{h}$$

3.2.2.6 Operación unitaria para el decantador

Diagrama 11. Operación unitaria de separación.



Fuente: elaboración propia.

$$M11 = M12 + M13$$

El rendimiento de biodiésel que se obtuvo al final del proceso a nivel laboratorio fue del 70%, siendo la restante glicerina.

$$M13 = \frac{4,27 \frac{kg}{h}}{100\%} * 70\% = 2,99 \frac{kg}{h}$$

$$M12 = 4,27 \frac{kg}{h} - 2,99 \frac{kg}{h} = 1,28 \frac{kg}{h}$$

A continuación, se presenta en la tabla 10 un resumen de todas las corrientes con sus respectivos valores involucradas en el proceso de síntesis de biodiésel a partir de la semilla de aguacate Hass, empleando el método de transesterificación.

Tabla 11. Corrientes del balance de materia del proceso.

Corrientes involucradas	Nombre	Valor
M1	Semillas de aguacate	56,82 kg/h
M2	Torta	47,23 kg/h
M3	Aceite con impurezas	9,57 kg/h
M4	Agua 70 °C	0,48 kg/h
M5	Aceite y agua	10,05 kg/h
M6	Vapor de agua	6,51 kg/h
M7	Aceite refinado	3,54 kg/h
M8	KOH y Metanol	4,82 kg/h
M9	Biodiésel y glicerina	8,36 kg/h
M10	Metanol	4,09 kg/h
M11	Biodiésel y glicerina	4,27 kg/h
M12	Glicerina	1,28 kg/h
M13	Biodiésel	2,99kg/h

Fuente: elaboración propia.

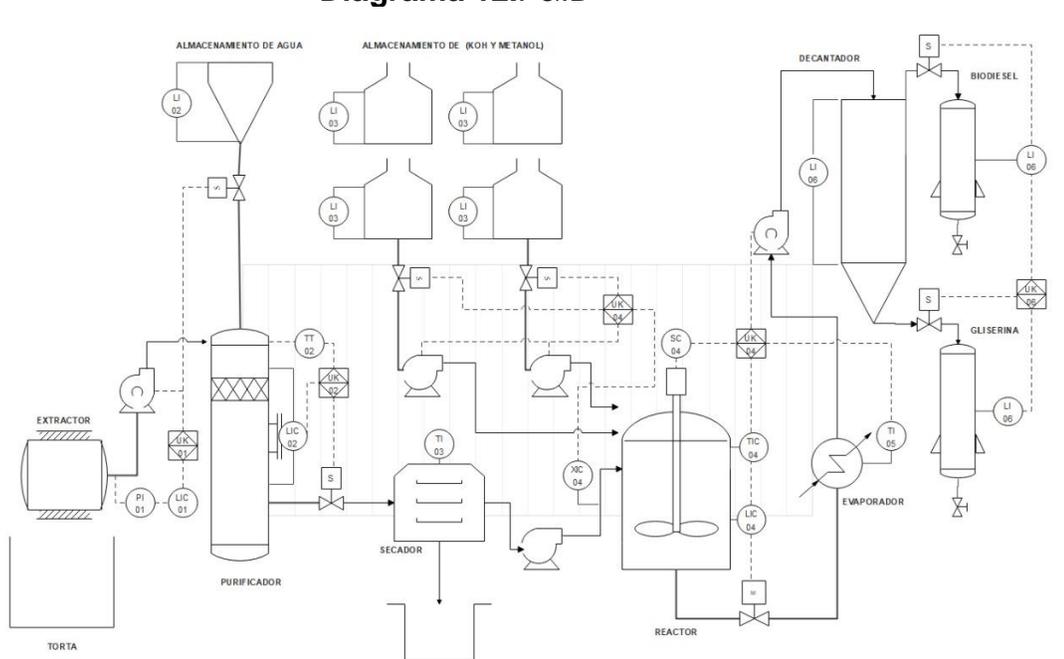
3.3 DIAGRAMA P&ID

A partir diagrama PFD se genera un diagrama P&ID por sus siglas en inglés (Piping and instrumentation diagram), que permite conocer la relación entre equipos, tuberías y elementos de instrumentación permitiéndolos organizar en lazos de control que guían a una secuencia de proceso controlada en cada fase (Diagrama 11), cabe resaltar que se tiene en consideración el uso de un PLC por sus siglas en inglés (Programable logic controller), como equipo master de control que toma los datos de sensores y controladores que se encuentran en la planta piloto con el fin de garantizar el correcto funcionamiento y dosificaciones de equipos para mantener la calidad del producto final.

- En el lazo de control (01) se tiene la parte de extracción de aceite de la semilla del aguacate Hass con su tanque de reposo con indicación de presión de operación y bomba de suministro para la siguiente fase que dependerá del nivel del mismo tanque.

- El lazo de control (02) cuenta con el purificador del aceite prensado, el cual cuenta con un tanque donde se monitorea las condiciones de temperatura y nivel para así dosificar agua y garantizar la reducción de impurezas.
- En el lazo de control (03) se tiene un secador y tanques de almacenamiento de materias primas para el siguiente proceso a los cuales se analiza niveles mínimos y máximos de líquido almacenado y temperaturas en el proceso.
- En el lazo de control (04) este es el lazo más importante de control puesto que en este ocurre el proceso de transesterificación, el cual consiste en mezclar en cantidades acertadas las materias primas (Metanol y KOH) con el aceite refinado obtenido de lazos anteriores, manteniendo en el reactor el control de nivel, temperatura y agitación de la reacción generada.
- En el lazo de control (05) hay un evaporador donde ocurre un intercambio de calor para eliminar parte del Metanol.
- En el lazo de control (06) el último control que se tiene es del decantador donde se separa el biodiésel de la glicerina para ser almacenados en tanques individuales con sus respectivos elementos de instrumentación para indicación de nivel y dosificaciones.

Diagrama 12.P&ID



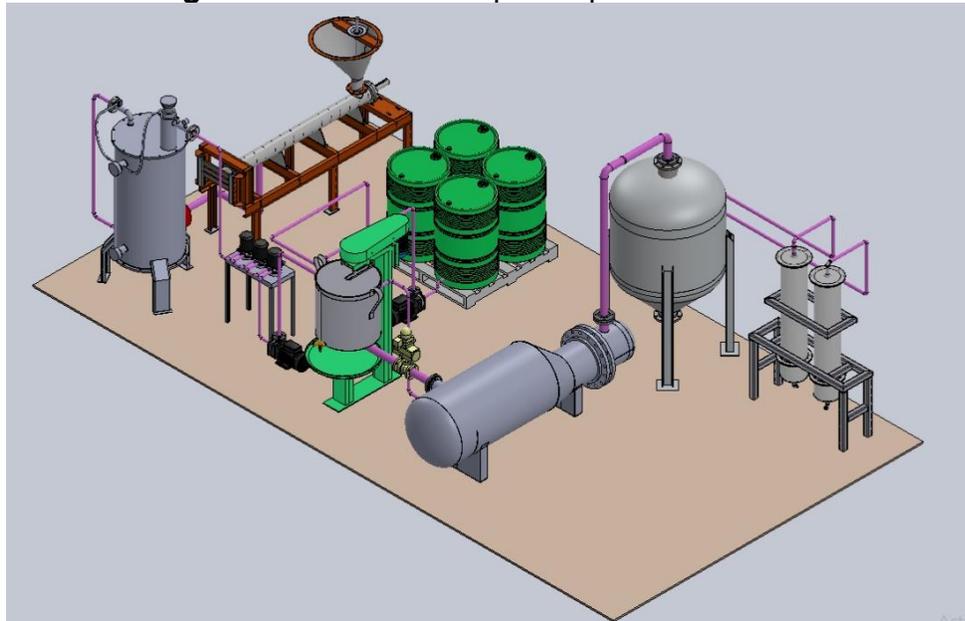
Fuente: elaboración propia

3.4 DISEÑO EN 3D DE PLANTA DE BIODIESEL (ESCALA PILOTO)

Para simular la planta piloto se apoya en el uso del software de diseño CAD SolidWord en su versión 2017, donde se puede observar los elementos a escala y la organización de espacio sobre el terreno, de igual manera se evidencia la

relación entre dichos elementos. Con esto se busca dar una idea acertada en cuanto a los equipos que se requieren en el proceso de producción de Biodiesel, claramente detallando un proceso de prensado para la extracción de aceite y otros procesos adicionales para la refinación del fluido obtenido el cual es importante para llevarlo a un reactor de transesterificación donde ocurre la reacción del proceso en cuanto a la obtención de Biocombustible, posteriormente tenemos otros sistemas para separar de esta mezcla la glicerina y el Biodiesel para ser almacenados y analizados(Imagen 23).

Imagen 22. Diseño en 3D planta piloto.



Fuente: elaboración propia.

3.5 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Teniendo en cuenta las unidades de proceso anteriormente mencionadas con sus respectivos balances de materia. Se definen las dimensiones y características de los equipos a utilizar en cada una de las etapas en la producción de biodiésel.

3.5.1 Extracción

3.5.1.1 Prensa mecánica. El proceso de extracción se basa en técnicas que permitan el rompimiento las membranas y su extracción del interior o de las mismas membranas. Se utiliza este método debido a que no requiere un aumento de temperatura, evitando la degradación térmica de los triglicéridos. Los elementos de la prensa LIBC3 que tienen contacto directo con la semilla están contruidos de acero inoxidable 304²³.Adicionalmente, sus tornillos transportan las

²³INDUCAM.Prensa mecánica.2017. [consultado el 22 de noviembre de 2019]. Disponible en:

semillas de forma libre y holgada, desde el cabezal de la máquina hasta el final del cilindro de prensado, donde son presionadas conservando las cualidades organolépticas de los aceites.

Imagen 23. Prensa LIBC3.



Fuente: INDUCAM.Prensa mecánica.2017. [consultado el 22 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.inducam.com.co/prensa-libc-3/>.

A continuación, se evidencia la ficha técnica de la prensa.

Tabla 12. Ficha Técnica de la prensa LIBC3.

Especificaciones	Valor
Potencia	7 Kw
Capacidad	150 kg
Peso	70 kg
Motor	200 V / 20 Hz
Material	acero inoxidable

Fuente: INDUCAM.Prensa mecánica.2017. [consultado el 22 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.inducam.com.co/prensa-libc-3/>.

3.5.2 Refinación

3.5.2.1 Equipo de Desgomado. El desgomado es el primer paso en una planta para llevar a cabo la refinación del aceite. Éste tratamiento tiene como fin la eliminación de fosfolípidos; sin este refinamiento los triglicéridos se alteran con mayor facilidad provocando contratiempos en el almacenamiento, una mayor susceptibilidad a la oxidación promoviendo la formación espumas durante el proceso afectando la calidad del aceite.

El desgomado por hidratación consiste en agregar agua caliente a una temperatura de 70°C para retirar las impurezas como los fosfolípidos, las gomas y proteínas que son solubles en agua.

Imagen 24.Equipo desgomador HDC-JLJ75B.



Fuente: Alibaba.Equipo desgomador. [consultado el 22 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/small-scale-degumming-vegetable-avocado-peanut-olive-oil-refining-process-machine-62184710633.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikeexp.4.156455d6S9jev3.

Tabla 13.Ficha Técnica del Equipo de desgomado HDC-JLJ75B.

Especificaciones	Valor
Potencia	7Kw
Capacidad	150 Kg
Peso	70 Kg
Motor	200 V / 20 Hz
Material	acero inoxidable

Fuente: Alibaba.Equipo desgomador. [consultado el 22 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/small-scale-degumming-vegetable-avocado-peanut-olive-oil-refining-process-machine-62184710633.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikeexp.4.156455d6S9jev3

3.5.2.2 Secador. La configuración de un secador se trata de un sistema que genere aire caliente; el cual puede estar compuesto de un ventilador y de una serie de hilo de resistencias eléctricas para generar calor. Por otra parte, el secado se refiere a la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de un material determinado.

Imagen 25.Horno de secado universal BB25OA.



Fuente: STRELIA. Horno de secado.2015. [consultado 22 de noviembre de 2019]. Recuperado en:http://strelia.pro/wpcontent/uploads/2017/06/20150303_ManualHornoBb250a_Strelia_ES_v1i.pdf.

Para el proceso de retirar la humedad del aceite se debe controlar la temperatura para mantener la calidad del aceite, por esta razón se usa una temperatura menor a 95 °C. A continuación, se presenta la ficha técnica del secador a utilizar (tabla 14).

Tabla 14.Ficha Técnica Horno de secado universal BB25OA.

Especificaciones	Valor
Rango de temperatura de secado	10°C - 95 °C
Potencia térmica	750 KW
Velocidad de aire horizontal (sin carga)	8 m/s
Tiempo de trabajo programable	10 min a 99 h
Capacidad de la cámara	250 Litros
Peso total	110 kg

Tabla 14. (Continuación)

Especificaciones	Valor
Potencia eléctrica nominal	2600 W
Voltaje	220- 240 V
Frecuencia de red	50 Hz
Dimensiones exteriores	100cm ancho*120 cm alto*60 cm profundidad
Dimensiones Interiores	70 cm ancho *70 cm de alto *55 cm profundidad

Fuente: STRELIA. Horno de secado.2015. [consultado 22 de noviembre de 2019].

Recuperado de: http://strelia.pro/wpcontent/uploads/2017/06/20150303_ManualHornoBb250a_Strelia_ES_v1i.pdf

3.5.3 Producción de biodiésel

3.5.3.1 Reactor Batch. Las operaciones de control son de suma importancia en los procesos industriales, ya que, permiten mantener los procesos en las condiciones adecuadas para la productividad, eficiencia buscadas, tomar medidas que eviten fallas de operación es decir implementar la seguridad industrial. En materia de reactores químicos, estas operaciones son de vital importancia, dada a la naturaleza de los fenómenos químicos.

Imagen 26.Reactor Batch.



Fuente: Murillo, Santiago. Escuela politécnica Nacional. [consultado 22 de noviembre de 2019].

El reactor que se eligió es un batch porque se está trabajando con reacciones en fase líquida. Este tipo de reactor es de tanque agitado de forma que se puede suponer que la mezcla es perfecta y, por lo tanto, la concentración y temperatura son uniformes dentro del reactor²⁴. Por otro lado, la reacción de transesterificación es exotérmica por lo que se debe hacer una operación semi-discontinua, es decir, que solo parte de los reactivos son cargados inicialmente, y el resto de los reactivos junto con el catalizador son agregados de manera controlada. En la tabla 14 se puede observar las especificaciones del reactor batch.

Tabla 15. Ficha Técnica de Reactor Batch.

Especificaciones	Valor
Volumen	15 L
Relación (altura-diámetro)	2 : 1
altura	0,9m
Diámetro	0,45 m
Material	acero inoxidable SS-316
Altura Cilíndrica	0,60 m

Fuente: Murillo, Santiago. Escuela politécnica Nacional. [consultado 22 de noviembre de 2019].

3.5.3.2 Evaporador. La evaporación es una operación unitaria que se basa en concentrar una disolución mediante la eliminación del solvente por ebullición. Es un sistema que tiene como función la transferencia de energía térmica. El evaporador absorbe el calor sensible del medio que se busca refrigerar para transformarlo en calor latente²⁵.

²⁴ Grau, Dolors. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE REACTORES DISCONTINUOS Y SEMICONTINUOS: MODELIZACIÓN Y COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL. [en línea]. Septiembre 2010. [citado el 23 de noviembre de 2019]. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6463/02_grauVilalta_capitol_1.pdf>

²⁵ Universidad politécnica de Catalunya. Introducción a los tipos de intercambiadores de calor. [en línea]. [consultado el 23 de noviembre de 2019]. Disponible en:

<<http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/evaporadors.html>>

Imagen 27.Evaporador Industrial.



Fuente: Grupo Vento. Diseño y fabricación de maquinaria industrial. [consultado noviembre 22 de 2019]. Disponible en: <http://evaporadoresindustriales.grupovento.com/evaporador-industrial-al-vacio/>.

3.5.3.3 Decantador. Este equipo se fundamenta en el método de decantación el cual consiste en la separación sistemática de componentes de un líquido por densidad²⁶.

El decantador posee un tambor cilíndrico- cónico de eje horizontal, que gira a gran velocidad. Un tornillo sinfín dispuesto dentro del tambor, y cuya velocidad de rotación es un poco distinta a la de este, produce un lento movimiento relativo del tornillo en relación al tambor que permite extraer los sólidos por una salida situada en la parte inferior del decantador.

Teniendo en cuenta el balance de materia se evidencian las especificaciones de este equipo en la tabla 16.

Tabla 16.Ficha Técnica del decantador.

Especificaciones	Valor
Diámetro decantador	6 a 10 m
Velocidad angular	2 o 2,87 rpm
Potencia	0,18 Kw

Fuente: hidro metálica. [consultado 23 noviembre de 2019]. Disponible en: <https://docplayer.es/76462722-Decantador-por-gravedad.html>

²⁶ Decantación- Flotación. [en línea]. [consultado el 23 de noviembre de 2019]. Disponible en: <<http://www.elaguapotable.com/Decantacion%20flotacion%20Degremont.pdf>>

4. ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN

En el siguiente capítulo se presenta un análisis financiero preliminar para la producción de biodiésel a partir de la semilla de aguacate Hass a una escala de planta piloto.

4.1 INVERSIONES

Las inversiones están constituidas por el conjunto de gastos que se debe contemplar para poder adquirir los bienes y servicios necesarios para poder ejecutar el proyecto. Se dividen en inversiones fijas y en capital de trabajo²⁷.

4.1.1 Inversiones fijas. Las inversiones fijas se refieren a los activos cuya vida útil es de muchos años y su propósito es proveer las herramientas y condiciones necesarias para que la empresa cumpla sus actividades²⁸ dentro de las cuales se encuentran:

4.1.1.1 Equipos. En las tablas 17 y 18 presentan los costos de los equipos involucrados en el proceso para la producción de biodiésel, sus costos de instrumentación, muebles y enseres.

Tabla 17. Costo de equipos de proceso.

Concepto	Cantidad	Capacidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Prensa mecánica LIBC 3	1	60 kg/h	20'680.000	20'680.000
desgomado	1	150 kg/h	3'050.000	3'050.000
Secador	1	100 kg/h	6'679.589	6'679.589
Reactor	1	15 L/h	2'550.000	2'550.000
Evaporador	1	20 L/h	2'748.000	2'748.000
Decantador	1	15 L/h	2'300.000	2'300.000
Tanques almacenamiento	4	10 L/h	860.000	3'440.000
Total			38'867.589	41'447.589

Fuente: elaboración propia

²⁷ UNAM. Análisis de riesgo y portafolios de inversión. [en línea]. [consultado el 24 de noviembre de 2019]. Disponible en: <<http://www.economia.unam.mx/profesores/blopez/Riesgo-Pres3.pdf>>

²⁸ Hernández, Ismael. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. [en línea]. 2011. [citado septiembre 23 de 2019]. Recuperado de: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/huejutla/administracion/evaluacion%20de%20proyecto%20de%20inversion/clasificacion_de_las_inversiones.pdf

Tabla 18.Costo de equipos de instrumentación.

Equipos	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Indicador de presión	1	115.668	115.668
Indicador de nivel	8	146.440	1171.520
Controlador de nivel	3	261.690	785070
Transmisor de temperatura	1	200.000	200.000
Indicador de temperatura	2	252.540	505.080
Medidor de acidez	1	1'256.077	1'256.077
Variador de velocidad	1	545.917	545.917
Electroválvula	6	49.400	296.400
Electroválvula con motor	1	368.000	368.000
PLC	1	544.608	544.608
Total			5'788.340

Fuente: elaboración propia

Tabla 19.Muebles y enseres.

Concepto	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Computador Dell Core	1	1'509.900	1'509.900
Impresora	1	599.900	599.900
Mesa de trabajo	2	279.900	559.800
Sillas	6	169.900	1'019.400
Escritorios	1	419.900	419.900
Total			4'108.900

Fuente: elaboración propia

El costo total para los equipos es de: \$ 47'235.929

Los datos contemplados en las tablas anteriormente mencionadas para la adquisición de los bienes de acuerdo a la capacidad de la planta fueron consultados gracias a recursos como "Alibaba", "mercado libre", "Homecenter" y de proveedores nacionales cuyas ventas están dedicadas al comercio electrónico por internet.

4.1.1.2 Terrenos. En la tabla 20 se presenta los costos del terreno necesario para poder implementar los equipos necesarios para la producción del biocombustible.

Tabla 20. Costo de terrenos.

Unidad	Área m ²	Costo de construcción*
Planta	30	87'545.400
Zona de almacenamiento de materia prima	10	2'9181.800
Zona de almacenamiento producto terminado	10	2'9181.800
		50
Costo total de construcción (\$)		145'909.000

Fuente: elaboración propia.

Asumiendo un costo de 2'918.180 m²*²⁹ se contempla un valor de \$145'909.000 para adquirir el terreno necesario para construir la planta.

4.1.2 Inversiones diferidas. Las inversiones diferidas son aquellas que se deben realizar para poner en marcha el proyecto sobre mediante la compra de servicios o derechos e inversiones en capacitación de personal. Son gastos que se recuperan a largo plazo³⁰.

Tabla 21. Costos de activos intangibles.

Activos intangibles	Valor (\$)
Capacitación de personal	1'500.000
Software	7'000.000
Total (\$)	8'500.000

Fuente: elaboración propia

Estas inversiones en capacitación son importantes para lograr transferir el “conocimiento y habilidades que se desempeñan en el lugar de trabajo, con el

²⁹ Valor metro cuadrado Bogotá 2019: conócelo y planifica tu inversión. [en línea]. Disponible en: <https://www.vivendo.co/actualidad/valor-metro-cuadrado-bogota-2019-conocelo-y-planifica-tu-inversion>.

³⁰ ESTUDIO FINANCIERO. [en línea]. Disponible en: <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/jbm/4.pdf>.

objetivo de alcanzar el desempeño laboral y aplicar estrategias de trabajo efectivas”³¹.

4.1.3 Costos de operación .Los costos fueron estimados teniendo en cuenta el primer año de operación, aquí se contemplan costos de materia prima, insumos, mano de obra, entre otros; que permiten que se ejecute el proyecto en la etapa de procesamiento³².

4.1.3.1 Costos directo. Son aquellos que se relacionan directamente con el producto como materias primas y mano de obra.³³

4.1.3.1.1 Materia prima. En la tabla 22 se presenta el costo de las materias primas necesarias para la producción de biodiésel durante un año.

Tabla 22.Costos de materia prima

Materia prima	Valor \$/kg	Cantidad kg	Total (\$)
Metanol*	1.128	1.0264,32	11'578.153
KOH**	2.550	25,34	64.627,2
Total		11'642.780	

Fuente: elaboración propia

*Veritrade

** Químicos industriales

4.1.3.1.2 Mano de obra directa

³¹BROAD, Mary L.; NEWSTROM, John W. Transfer of Training: Action-Packed Strategies To Ensure High Payoff from Training Investments. Corporate and Professional Publishing Group, Addison-Wesley Publishing Co., One Jacob Way, Reading, MA 01867 (discount on quantity orders)., 1992.

³² ANDERSON, James E.; VAN WINCOOP, Eric. Trade costs. Journal of Economic literature, 2004, vol. 42, no 3, p. 691-751.

³³ Project Management. [en línea]. Disponible en:

<<https://obsbusiness.school/int/blog-project-management/viabilidad-de-un-proyecto/costos-directos-e-indirectos-de-un-proyecto.>>

Tabla 23. Costos mano de obra directa

Cargo	Personal	Sueldo bruto (\$)	Aportes (\$)	Prestaciones sociales (\$)	Total mes (\$)	Total año (\$)
Ingeniero químico	1	2'500.000	737.500	522.583	3'760.083	45'120.990
Operarios	2	960.000	283.200	200.672	2'887.743	34'652.920
Secretaria	1	1'300.000	383.500	271.743	1'955.243	23'462.915
Total					8'603.068	1,03E+08

Fuente: elaboración propia

En la tabla 23 se tuvo en cuenta un tiempo de trabajo de 1 año con un turno de 8 horas diarias y 22 días al mes, el pago se realiza a corde al código sustantivo del trabajo³⁴ en el que contempla para aportes (Arl 5%, Eps 8.5%, pension 12%, cajas de compensación 4%) y para las prestaciones sociales (cesantías y prima legal 8.33%, intereses de cesantías 1%, vacaciones 4,16%).

4.1.4 Servicios. La planta de producción de biodiesel requiere de servicios necesarios como: Electricidad, agua y alcantarillado. En el que se contemplaron para estos gastos las horas de funcionamiento de la planta (8 horas diarias y 22 días al mes) para un año. Estos costos se estiman para el año 2019 y pueden ser consultados en el anexo C Y D.

Tabla 24. Servicios

Concepto	Requerimiento diario	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Costo mes (\$)	Costo año (\$)
Acueducto-alcantarillado	15	m ³	13.457	201.855	2'422.260
Energía eléctrica	303,52	kWh	611	4'079.916	48'958.990
Total				4'281.771	5'1381.250

Fuente: elaboración propia

³⁴Artículo Sustantivo del trabajo. [en línea]. [consultado el 24 de noviembre de 2019]. Recuperado de: <https://leyes.co/codigo_sustantivo_del_trabajo/51.htm>

Tabla 25. Costos totales de inversión

Costos Totales de Inversión	
Inversiones fijas (\$)	197'253.829
Inversiones diferidas (\$)	8'500.000
Costos de operación (\$)	11'464.2780
Servicios (\$)	51'381.250
Total (\$)	371'777.859

Fuente: elaboración propia

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presenta un análisis de cada uno de los parámetros que intervienen en la producción de biodiesel desde la caracterización de la materia prima, hasta la producción del mismo.

5.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

5.1.1 Humedad

➤ Base húmeda

Tabla 26. Resultados de Humedad (Húmeda).

	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Semilla	60,72 %	60,55 %	60,41 %

Fuente: elaboración propia.

➤ Base seca

Tabla 27. Resultados de Humedad (Seca).

	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Semilla	61,51 %	61,75 %	61,65 %

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 13. Determinación de la humedad.

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{(M1 - M2)}{M} \times 100$$

Fuente: Universidad tecnológica de Chile. Química de alimentos -510144. [en línea].

Recuperado de:

https://www.academia.edu/24997715/Gu%C3%ADa_de_Humedad_y_Cenizas_1_.

Dónde: M1 es el peso del crisol, M2 es el peso del crisol más la muestra y M es el peso de la muestra

En la tabla 26 y la tabla 27 se presentan los datos obtenidos para la determinación de la humedad, los valores obtenidos mediante la ecuación 13 oscilan entre 60% y 61% estando cercano a los parámetros estipulados en estudios consulados en el que el rango de humedad varía entre 57% y 59%³⁵, indicando la presencia

³⁵ Refingo, Petro, et al. CARACTERIZACIÓN Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE PALTA *Persea americana* MILL..

acuosa en la semilla, al ser un porcentaje alto significa que al momento de realizar la extracción del aceite debe retirarse el contenido de agua para que no se vea afectada la calidad del aceite. Así mismo favorece la reacción de saponificación disminuyendo el rendimiento en la obtención del biocombustible aumentando la viscosidad y la formación de geles que impiden la separación de la glicerina.

5.2 Cenizas

➤ Base seca:

Tabla 28.Determinación de cenizas (base seca).

	Réplica 1	Réplica 2
Semilla	2,68 %	2,61 %

Fuente: elaboración propia

➤ Base Húmeda:

Tabla 29.Determinación de cenizas (base húmeda)

	Réplica 1	Réplica 2
Semilla	2,79 %	2,69 %

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 14.Determinación de cenizas.

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{(P - p)}{M} \times 100$$

Fuente: Universidad tecnológica de Chile. Química de alimentos -510144. [en línea]. Recuperado de: https://www.academia.edu/24997715/Gu%C3%ADa_de_Humedad_y_Cenizas_1_.

Dónde: P representa el peso del crisol con las cenizas, p es el peso del crisol y M el peso de la muestra.

El contenido de cenizas tiene una importancia frente a la calidad del aceite ya que, indica el contenido de materia orgánica presente. Lo datos obtenidos se encuentran en las tablas 28 y 29 reportando un porcentaje de cenizas que se encuentra entre un rango de 2,6% y 2,7% estando dentro de los parámetros

[En línea].2015.[citado 28-Agosto-2019]. Ciencia e Investigación 2015; 18(1): 33-36.

registrados en la literatura que establece un porcentaje de cenizas que se encuentra entre 2,1 %y 2,7%³⁶.

5.2.1 Lípidos

Tabla 30. Aceite obtenido del extractor Soxhlet.

	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Semilla	2,35g	3,10g	2,67g

Fuente: elaboración propia

Los lípidos presentes es el factor más importante que se debe considerar ya que la presencia de los mismos permite la reacción de transesterificación los datos reportados en la tabla 30 se acercan a los datos obtenidos de lípidos para la semilla por el mismo método donde los valores varían entre 1,6814 g y 2,2186 g.³⁷

5.3 OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

El primer paso es obtener el aceite para ello se evaluaron diferentes métodos de extracción con el fin de determinar cuál proporciona un mejor rendimiento.

5.3.1 Extracción de aceites

➤ Soxhlet

Tabla 31. Aceite obtenido mediante la extracción soxhlet.

Concepto	Tiempo (h)	Peso muestra (g)	Aceite obtenido(g)	Rendimiento extracción (%)
Semilla	4	70	3,19	4,56
Torta	4	70	0,28	0,4

Fuente: elaboración propia.

➤ Prensa mecánica

³⁶ Íbid.pág34.

³⁷ Íbid.pág34.

Tabla 32. Aceite obtenido mediante la prensa mecánica.

Semilla	Tiempo (h)	Peso muestra (g)	Prensado	Aceite obtenido (g)	Rendimiento extracción (%)
seco	0,16	70	Frío	1,36	1,94
	0,16	70	Caliente	1,25	1,78
	4	70	Frío	2,57	3,67
	4	70	Caliente	1,13	1,61
	24	70	Frío	3,29	4,70
	24	70	Caliente	2,99	4,27
Húmedo	n/a	70	Frío	11,78	16,84
		70	Caliente	9,18	13,12

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 15. Rendimiento de la extracción.

$$R = \frac{M2}{M1} * 100$$

Fuente: Perdomo, Duberney Y Palomarez, Belsein. Extracción y evaluación de rendimientos de los aceites esenciales del árbol Aniba Perutilis Hemsley (Comino) mediante el método de arrastre con vapor. Ingenieros Agroforestales. Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Florencia. 2015. 37p.

Dónde: R es el rendimiento de la extracción, M2 la masa final del aceite (g) y M1 la masa inicial de aceite (g)

En la tabla 31 se observa el aceite obtenido por el método de Soxhlet 3,1907 g con un rendimiento de 4,56 % siendo bajo por lo que no es viable utilizar esta técnica. Mientras que el aceite obtenido por prensado mecánico es de 11,7853 g con un rendimiento más alto del 16,84% con un prensado en frío y pasando la semilla en base húmeda, dichos valores se pueden apreciar en la tabla 32. Donde adicionalmente se puede apreciar el rendimiento de la extracción cuando la semilla se pasa en base seca variando los tiempos de secado, los datos reportados son de 1,61% a 4,70% siendo estos muy bajos, esto es debido a que el aceite tiene mucha viscosidad y no tiene la capacidad de fluir y se debe ayudar con un solvente o con un aumento de temperatura aunque no sería conveniente porque al aumentar mucho la temperatura se puede ver afectada la calidad del aceite ya que se presenta una degradación de los triglicéridos. Adicional se realiza la extracción Soxhlet a la torta que es el residuo de la prensa con el fin de aprovecharlo, pero la

cantidad de aceite que se produce es de 0,2830 g por lo cual se decide rechazar esta alternativa.

5.4 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE

5.4.1 Índice de saponificación. De los parámetros evaluados del aceite el índice de saponificación resulta muy importante, ya que este valor nos permite identificar si la reacción puede llevar a la producción de jabón.

Tabla 33. Resultados índice de saponificación

	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Semilla	246,57	240,37	243,75

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 16. Determinación del índice de saponificación.

$$E.S = \frac{P * 1000}{(a - b) * N}$$

Fuente: Rodríguez, Arzate, et al. ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DE CINCO MANTECAS DETERMINADO MEDIANTE UN MICROMÉTODO. Vol. 1, No. 1 (2016) 937-942.

Dónde: P es el peso de la muestra de éster, a representa el volumen de ácido gastado en la titulación del blanco, b es el volumen de ácido gastado en la titulación del problema y N normalidad del ácido.

Es uno de los parámetros más importantes que se debe controlar puesto que si esta fuera del rango establecido va a favorecer la reacción de saponificación lo que indica la producción de jabón en el momento de llevar a cabo la reacción de transesterificación. También es una medida que indica la pureza del aceite y permite determinar el peso molecular de los triglicéridos o de los ácidos grasos presentes. En la tabla 33 se muestra que los datos experimentalmente cumplen con los valores encontrados en la teoría donde varían en un $242,305 \pm 5,4498$ ³⁸.

5.4.2 Índice de acidez. Es un parámetro del contenido de ácidos grasos libres presentes en grasas y aceites, se determinó mediante una titulación ácido- base.

³⁸ Íbid.pág35.

Tabla 34. índice de acidez para aceites

	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Semilla	3,71%	4,21%	4,13%

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 17.Determinación del índice de acidez.

$$\%Grado\ de\ Acidez = \frac{V * N * 56,11}{P} * 100$$

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 218.

Siendo v el volumen (ml) de KOH consumidos, N la normalidad KOH, 56,11 el peso molecular de KOH y P es el peso (g) del aceite.

De acuerdo con los datos reportados en la tabla 34, se puede evidenciar que estos oscilan entre 3,7 y 4,1%, los cuales sobrepasan el rango determinado en la norma técnica colombiana NTC 218, en donde se establece que el valor del índice de acidez debe ser menor al 3%, de lo contrario al momento de realizar la reacción de transesterificación se verá favorecida la producción de jabón.

Por otra parte, si el índice de acidez es menor a 1%, se determinó que no se debía hacer una esterificación al aceite para reducir los ácidos grasos³⁹. En este caso el índice de acidez fue mayor al 3% por ende, se debe hacer una esterificación previa para disminuir las cadenas de esos ácidos grasos y la acidez de la materia prima y aumentando el rendimiento del producto final.

5.5 REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN

Tabla 35.Rendimientos de biodiésel.

Corrida	Masa inicial aceite (g)	Masa final de biodiésel (g)	Masa final réplica (g)	Rendimiento (%)	Rendimiento réplica (%)
1	10	3,62	3,54	35,58	34,8
2	10	3,98	3,84	39,12	37,74
3	10	4,93	5,1	48,46	50,13
4	10	5,23	4,77	51,41	46,89

³⁹ L. López, J. Bocanegra y D. Malagón-Romero, "Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado", Ing. Univ., vol. 19, no. 1, pp. 155-172, Ene.-jun., 2015.

Tabla 36 (Continuación)

Corrida	Masa inicial aceite (g)	Masa final de biodiésel (g)	Masa final réplica (g)	Rendimiento (%)	Rendimiento réplica (%)
5	10	4,24	4,39	41,6	43,15
6	10	4,72	4,57	46,39	44,92
7	10	6,4	6,58	62,91	64,68
8	10	6,98	7,1	68,61	69,79

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 18. Rendimiento de biodiésel.

$$R = \frac{mf}{mFB100} * 100$$

Donde:

$$mFB100 = \frac{mIO * (MMo + 4)}{MMo}$$

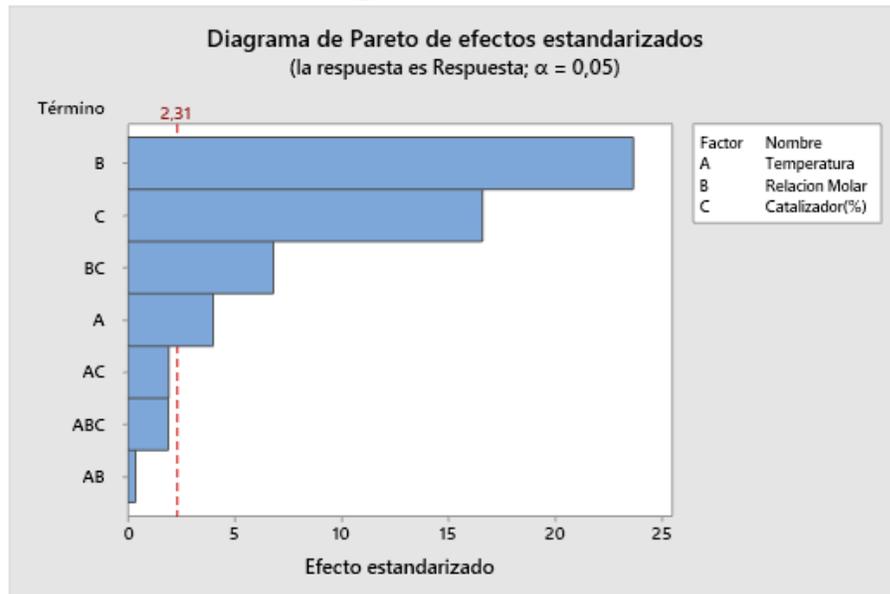
Fuente: Baccaro, José. Evaluación de rendimiento de biodiesel elaborado a partir de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) y etanol anhidro de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Ingeniero en Agroindustria Alimentaria. Honduras. 2007. 34p

Dónde: R es el rendimiento final, mf masa final de biodiésel, mFB100 es la masa final de biodiésel asumiendo 100 % de transesterificación, mIO es la masa inicial del aceite, MMo la masa molecular del aceite.

Para que se lleve a cabo la reacción de transesterificación y se obtenga un buen rendimiento se deben controlar los factores fijos y variables establecidos en el capítulo anterior, si alguno de ellos no tiene control el rendimiento, cantidad y la calidad de biodiésel comienzan a disminuir. Inicialmente se había planteado un diseño de experimentos con relaciones de alcohol: aceite de 3:1 y 6:1 que son las relaciones que más se utilizan para la reacción de transesterificación reportadas en la literatura, pero al completar el tiempo de reacción que en este caso fueron 2 horas para cada una de las muestras, y al dejarlas en el decantador por un periodo de 24 horas no se observaba la separación de las fases además de las características físicas del resultante como el olor y la viscosidad no habían variado respecto a las del aceite, esto se debe a que el aceite presenta largas cadenas de los triglicéridos que necesitan de más alcohol para poder romperse, por tal motivo se comenzó a variar las relaciones hasta llevar a cabo la reacción completamente

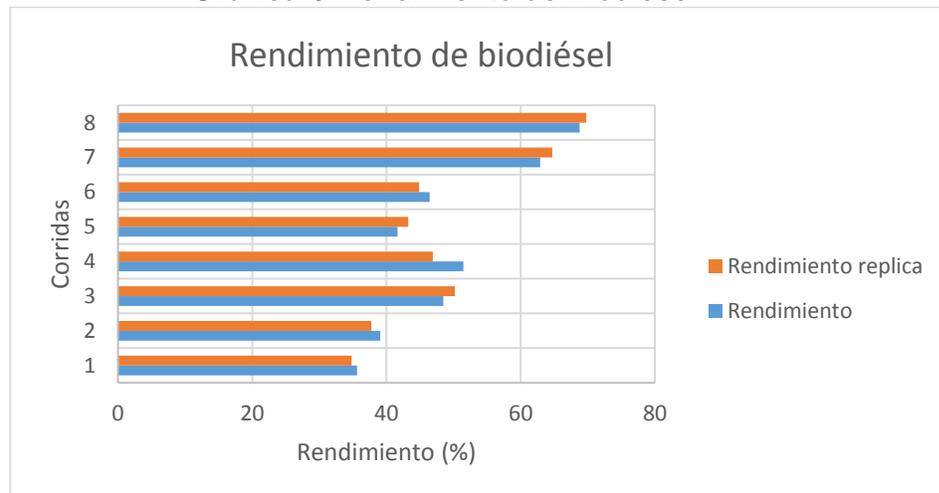
y así obtener biodiésel y glicerina. Las relaciones en las que se observó la presencia de las dos fases fue con 8:1 y 10:1. En la tabla 34 se reportan en gramos la cantidad producida de biodiésel para cada una de las corridas (la relación molar, temperatura y concentración de catalizador), la que proporcionó el rendimiento más alto fue 10:1, 60°C 1,5% como se observa en la gráfica 6 con un rendimiento del 70 %. En la gráfica 5 del diseño de experimentos se puede constatar en el diagrama de Pareto que la variable más influyente en la reacción de transesterificación es la relación molar seguida de la concentración del catalizador.

Gráfica 5. Diagrama de Pareto.



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 6. Rendimiento de Biodiésel.



Fuente: elaboración propia.

5.6 CARACTERIZACIÓN DEL BIODIÉSEL

En esta parte se evaluarán los parámetros más importantes (densidad, viscosidad cinemática, cenizas sulfatadas, punto de inflamación y acidez), para la caracterización físico química del biodiésel y se contrastará respecto a las normas establecidas, para determinar el cumplimiento o no de las mismas.

5.6.1 Viscosidad cinemática

Tabla 36. Resultados de la viscosidad cinemática.

Corrida	Tiempo (s)	Viscosidad (mm ² /s)	Tiempo (s)	Réplica	ASTM D6751
1	43,17	4,32	43,20	4,32	1,9-6
2	43,23	4,32	43,27	4,33	1,9-6
3	43,32	4,33	43,35	4,34	1,9-6
4	43,48	4,35	43,46	4,35	1,9-6
5	44,23	4,42	44,19	4,42	1,9-6
6	44,30	4,43	44,28	4,43	1,9-6
7	44,45	4,44	44,47	4,45	1,9-6
8	45,20	4,52	45,13	4,51	1,9-6

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos fueron determinados mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 19. Viscosidad Cinemática.

$$\text{Viscosidad cinemática} = t * K$$

Fuente: López, Diego. OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DE RESIDUOS DE AGUACATE PRODUCIDO MEDIANTE EL MÉTODO DE TRANSESTERIFICACIÓN EN UN REACTOR TIPO BATCH. Ingeniero Mecánico. Bogotá. Universidad Libre. 2017. 69p.

Dónde: t es el tiempo medido en segundos que demora la muestra en pasar por la marca del viscosímetro y K es la constante de viscosidad del viscosímetro capilar cuyo valor es de 0,1.

La viscosidad es una propiedad fundamental para los combustibles que se usan en motores diésel, debido a que influye directamente en el funcionamiento de los inyectores y su posterior atomización. Cabe resaltar que la viscosidad está muy relacionada con la composición de ácidos grasos presentes en una determinada muestra. Aumenta al crecer la cadena de ácido graso como de alcohol, se manera

que los ésteres etílicos presentan valores superiores a los compuestos metílicos. En la tabla 34 se muestran las viscosidades cinemáticas de cada muestra. Así mismo con respecto a los valores proporcionados se puede apreciar que los datos se encuentran dentro del rango definido por la norma ASTM D6751.

5.6.2 Densidad. La densidad fue determinada por el método tradicional del picnómetro. Para medir la densidad del biodiésel se deben realizar las siguientes mediciones:

Picnómetro vacío: M1.

Picnómetro con agua destilada: M2.

Picnómetro con el líquido: M3.

$$M_2 - M_1 = V \cdot d_a$$

$$M_3 - M_1 = V \cdot d_p$$

Dividiendo ambas

$$\frac{M_2 - M_1}{M_3 - M_1} = \frac{d_a}{d_p}$$

Pero como $d_a = 1 \frac{g}{cm^3}$

$$\text{Densidad} = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1}$$

La densidad es uno de los parámetros más importantes en el almacenamiento, transporte y comercialización de los combustibles, debido a que dichas sustancias generalmente presentan variaciones respecto a su volumen por los cambios de temperatura a presión constante. El biodiésel generalmente es más denso y menos comprensible a comparación del diésel y esto interfiere en el poder calorífico y el consumo del combustible.

Tabla 37. Resultado de la densidad de biodiésel.

Propiedad	Biodiésel (kg/m ³)	Norma ASTM D4052
Densidad a 15°C	825,87	860-900

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 36 se muestra la densidad de la muestra que dio un mejor rendimiento de biodiésel. Sin embargo, no se está cumpliendo con el rango estipulado en la norma ASTM D4052, el cual se encuentra entre 860-900. La densidad se determinó por el método del picnómetro ya que, para poderlo determinar mediante densímetros de flotación, se requiere una cantidad considerable de biodiésel.

5.6.3 Cenizas sulfatadas

Tabla 38. Cenizas Sulfatadas

Corrida	Cenizas (%)	Réplica	ASTM D 874
1	0,0125	0,0132	< 0,2
2	0,0059	0,0052	< 0,2

Tabla 38. (Continuación)

Corrida	Cenizas (%)	Réplica	ASTM D 874
3	0,0156	0,0167	< 0,2
4	0,0009	0,0012	< 0,2
5	0,0014	0,0018	< 0,2
6	0,0026	0,0020	< 0,2
7	0,0165	0,0160	< 0,2
8	0,0012	0,0014	< 0,2

Fuente: elaboración propia.

el valor que se obtuvo en las cenizas se encuentran reportados en la tabla 37 las 8 corridas se encuentran por debajo del valor máximo permitido en la norma que es de 0.02 cumpliendo con lo requerido, esto indica que la generación de depósitos en el motor no será perjudicial, lo cual representa un combustible más limpio.

5.6.4 Punto de inflamación

Tabla 39. Punto de inflamación

Corrida	Temperatura (°C)	Generación de llama	Réplica	ASTM D 93
1	30	x	x	120 °C
	60	x	x	120 °C
	90	✓	✓	120 °C
2	30	x	x	120 °C
	60	x	x	120 °C
	90	✓	✓	120 °C
3	30	x	x	120 °C
	60	x	x	120 °C

Tabla 39 (Continuación)

Corrida	Temperatura (°C)	Generación de llama	Réplica	ASTM D 93
	90	✓	✓	120 °C
4	30	x	x	120 °C
	60	x	x	120 °C
	90	✓	✓	120 °C
5	30	x	x	120 °C
	60	x	x	120 °C
	90	✓	✓	120 °C
6	30	x	x	120 °C
	60	x	x	120 °C
	90	✓	✓	120 °C
7	30	x	x	120 °C
	60	x	x	120 °C
	90	✓	✓	120 °C
8	30	x	x	120 °C
	60	x	x	120 °C
	90	✓	✓	120 °C

Los datos reportados en la tabla 38 presentan el punto de inflamación del biodiésel todas las muestras presentaban una flama al acercar una fuente de ignición estando el biodiésel a una temperatura de 90 °C estando por debajo del valor permitido como lo menciona la norma que es de 120°C, esto puntos bajos de inflamación indican la presencia de alcohol en el biodiesel. Lo que industrialmente significa que podría verse afectada la seguridad de la empresa.

5.7 Resumen de análisis de resultados caracterización de materia prima.

Tabla 40. Porcentaje caracterización de materia prima.

Caracterización materia prima		
Parámetros		%
Humedad	Base seca	61,64
	Base húmeda	60,56
Cenizas	Base seca	2,65
	Base húmeda	2,74
Aceite obtenido	Base seca	0,8
	Base húmeda	5,42

Fuente: Elaboración propia

5.7.1 Resumen de análisis de resultados de obtención de biodiésel.

Tabla 41. Rendimientos en la síntesis de biodiésel.

Obtención de biodiésel		
Extracción aceite		Rendimiento (%)
Soxhlet	Semilla	4,56
	Torta	0,4
Prensa	Seco/ caliente	2,55
	Seco/ frío	3,44
	Húmedo/ caliente	13,12
	Húmedo/frío	16,84

Tabla 41. (Continuación)

Extracción aceite	Rendimiento (%)
-------------------	-----------------

Reacción de transesterificación		%
Corrida	50/1,8/1	35,19
	60/1,8/1	38,43
	50/1,10/1	49,29
	60/1,10/1	49,15
	50/1,8//1,5	42,42
	60/1,8/1,5	46,66
	50/1,10/1,5	63,79
	60/1,10/1,5	69,20

Fuente: elaboración propia.

6. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL ENTRE SEMILLA AGUCATE HASS Y PALMA AFRICANA

En esta sección se pretende mostrar una comparación de los resultados obtenidos a nivel laboratorio con fuentes bibliográficas enfocadas a la producción de biodiésel de palma africana, para así otorgar una visión general y saber si el biodiésel a partir de semilla de aguacate Hass puede competir con el de palma.

6.1.1.1 Materia Prima. Existen diversas materias primas para la producción de biodiésel cada una tiene un perfil característico de ácidos grasos. La síntesis biodiésel no se mide solo con el rendimiento de extracción del aceite y de biodiésel; sino que también resulta importante conocer el rendimiento de las materias primas que se evidencia en la tabla 39.

Tabla 42. Rendimientos de materias primas(Lts/ha/año).

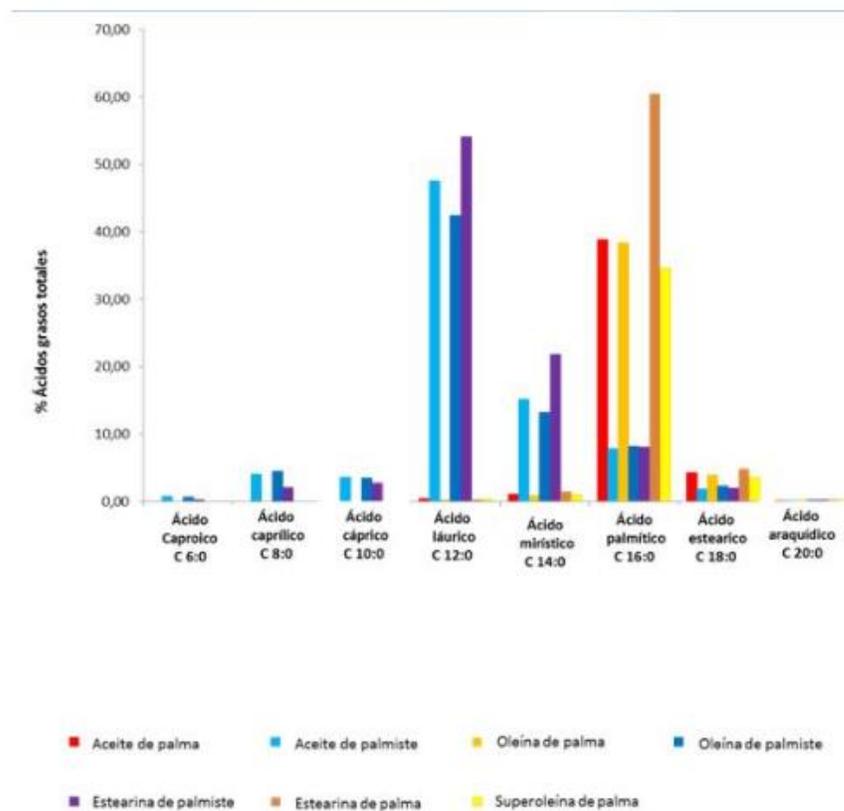
Cultivo	Rendimiento
Palma	5.550
Coco	4.200
Higuerilla	2.600
Aguacate	2.460
Jatropha	1.559
Colza	1.100
Maní	990
Girasol	890
Soya	840

Fuente: Ministerio de minas y energía.

Como se puede apreciar en la tabla 39, el rendimiento del cultivo de la palma es mayor con respecto al aguacate, esto se debe a que en Colombia se siembra más palma que aguacate para la extracción del aceite, porque la rentabilidad en cuanto al rendimiento del aceite proveniente de la palma es mayor respecto no solo al aguacate sino a las demás plantas oleaginosas destinadas a fines oleoquímicos.

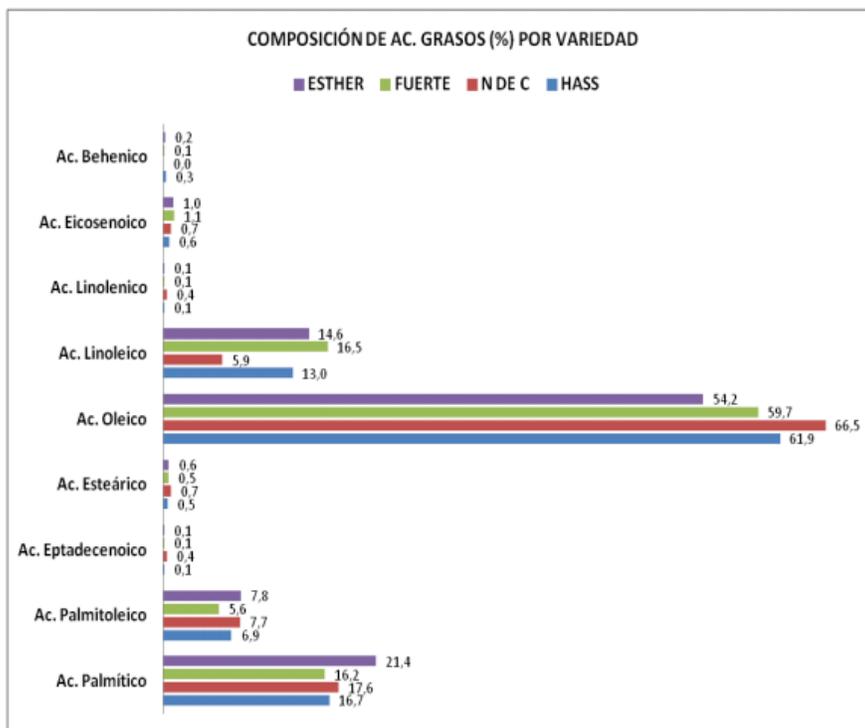
6.1.1.2 Comparación de la Composición de ácidos grasos libres

Imagen 28. Composición de ácidos grasos de la palma africana.



Fuente: Fundación española del aceite de palma sostenible. Qué es el aceite de palma: Composición y características [en línea] <https://aceitedepalmasostenible.es/aceite-palma-composicion-caracteristicas/>. [Consultado el 17 de noviembre 2019].

Imagen 29. Composición de ácidos grasos de aguacate.



Fuente: Villar, Isabel. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y COMPONENTES BIOACTIVOS CUATRO VARIEDADES DE PALTAS (Persea americana) COMERCIALES CHILENAS.COMPARACIÓN DE COMPONENTES BIOACTIVOS, COSECHAS 2011-20112. 2016

La composición de ácidos de la palma africana se presenta en la imagen 28 y la del aguacate Hass en la imagen 29, en donde se puede apreciar que el aguacate Hass contiene en su mayor proporción ácido oleico aproximadamente 62 %; por el contrario, el aceite de palma presenta en mayor cantidad ácido palmítico alrededor del 45 %. La composición variable del perfil y contenido de ácidos grasos de las materias primas presentadas interfiere en las características y la calidad del biodiésel. El contenido de ácidos grasos saturados e insaturados es muy variable entre la palma y el aguacate Hass. Sin embargo, los dos poseen más grasos saturados.

Los ácidos grasos otorgan diferentes características físicas y químicas debido a su estructura, que a su vez intervienen en las propiedades del aceite. En general, los ácidos grasos insaturados poseen un bajo punto de fusión, por el contrario, los saturados tienen un alto punto de fusión. Por otra parte, los aceites que contienen una gran cantidad de compuestos insaturados son líquidos, mientras que los que tienen alto contenido de ácidos grasos saturados son sólidos a temperatura ambiente.

Las propiedades del biodiésel se determinan por la cantidad de cada ácido graso presente en la molécula del triglicérido (longitud de cadena y el número de dobles enlaces), y estos tienen una implicación directa en las propiedades físicas del

biodiésel. El proceso de transesterificación no altera la composición de ácidos grasos de la materia prima utilizada en la síntesis de biodiésel.

6.1.1.3 Rendimiento de biodiésel

Tabla 43. Comparación Rendimiento.

Temperatura (°C)	Relación Molar alcohol-aceite	% de catalizador (KOH)	Rendimiento Biodiésel palma africana	Rendimiento Biodiésel semilla aguacate Hass
60	10:01	1	61,06%	64,77%
60	10:01	1,5	28,15%	68,79%

Fuente: elaboración propia.

Como se evidencia en la tabla 39, el rendimiento del proceso de palma es menor comparado con el del aguacate Hass, esto se debe a que cuando se emplea una relación molar-aceite alta se obtienen mayores pérdidas de lavado generando que el rendimiento sea bajo ya que, entre mayor sea la cantidad remanente de metanol aumenta el volumen en la fase de biodiésel influyendo de manera negativa en el rendimiento. Así mismo, la relación alcohol-aceite es de igual forma inversa al rendimiento, es decir, cuando se emplea una relación de 6:1 se obtienen rendimientos altos en el proceso de transesterificación de aceite de palma⁴⁰.

Tabla 44. Comparación de parámetros.

Propiedades	Unidad	Biodiésel palma africana	Biodiésel semilla aguacate Hass	ASTM
Densidad (15°C)	kg/m ³	875	825,87	860-900
viscosidad	mm ² /S	4,49	4,35	1,9-6
Punto de inflamación	°C	159	90	120°C

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los datos reportados en la tabla 40 se puede observar que al evaluar los parámetros fisicoquímicos del biodiésel, tanto la palma con las semillas de aguacate Hass cumplen con los rangos establecidos para densidad y viscosidad. Sin embargo, no están cumpliendo con el punto de inflamación, esto

⁴⁰ Arbeláez, Ángela y Rivera, Marcela. DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DE ALGUNOS ACEITES VEGETALES COLOMBIANOS. Trabajo de grado ingeniero de procesos. Medellín. Universidad EAFIT. 2007.p1-104.

se debe a que quedo una cantidad de metanol en el biodiésel ya que, a medida que aumenta el porcentaje de metanol presente en el biocombustible el punto de inflamación tiende a caer.

7. CONCLUSIONES

- Se determinaron las propiedades físicas y químicas que permitieron saber si la semilla es una materia prima útil para la extracción de aceites mediante el contenido lipídico ($2,71 \text{ g} \pm 30$), con un rendimiento de extracción de $5,42 \%$, lo cual no representa una cantidad considerable de aceite.
- Para la obtención de biodiésel es importante tener una buena calidad del aceite, para ello se realizó la extracción en una prensa mecánica en frío, donde se obtuvo una cantidad de $(11,7853 \pm 5)$ y un rendimiento de $(16,84 \pm 2)$ siendo este un rendimiento bajo, para determinar la calidad del aceite se realizó una caracterización en donde los parámetros a evaluar fueron: Índice de saponificación ($243,56 \pm 5$) lo que indica que no se va a formar jabón, índice de acidez ($4,02 \pm 4$) estando fuera del rango permitido por lo tanto se debe realizar una esterificación previa antes de llevar a cabo la etapa de transesterificación. Del diseño de experimentos las condiciones que proporcionaron un mejor rendimiento ($69,28\%$) fueron: relación molar alcohol:aceite (10:1), concentración de catalizador (1,5%) y temperatura (60°C), para concluir si es un buen biocombustible se especificaron los siguientes parámetros: viscosidad cinemática ($3,85 \pm 8$), densidad ($825,879$), cenizas sulfatadas ($0,0075\% \pm 0,5$), punto de inflamación (90°C) los factores que no cumplieron con lo establecido en la norma fueron punto de inflamación y densidad lo que impide que puedan ser empleados en motores tipo diésel. Posteriormente se realizó una comparación con el biodiésel obtenido a partir de la palma africana, con las mismas condiciones de operación (10:1, 1,5% y 60°C), el rendimiento fue más bajo ($28,15\%$) y los parámetros.
- A partir de las mejores condiciones obtenidas en el diseño de experimentos (10:1, 1,5% y 60°C) se lleva el proceso a una escala planta piloto, en el cual ingresan $56,82 \text{ kg/h}$ de semillas de aguacate a la prensa mecánica, de esta extracción se obtiene aproximadamente 83% de torta y 17% de aceite. De rendimiento se concluye que no es factible trabajar con las semillas de aguacate. Posteriormente, al separar las fases de biodiésel y glicerina ($4,27 \text{ kg/h}$), se logra un rendimiento de biodiésel del 70% . Con respecto a los datos obtenidos, el rendimiento de biodiésel es bueno y este no tiene nada que ver con la cantidad de aceite extraído que es realmente baja.
- El equipo utilizado para la extracción del aceite es de $\$20'680.000$ y su posterior tratamiento $\$9'729.589$ lo que significa que solo para el aceite se debe invertir $\$30'409.589$. En comparación a los equipos utilizados para la producción del biodiésel $\$11'038.000$. Es más costoso extraer aceite que producir biodiésel. Finalmente, para poder dar ejecución a la empresa se tiene un estimado de $\$371'777.859$. Los cuales no se justifican respecto a la cantidad de aceite que se extrae, significaría pérdidas para la planta.

8. RECOMENDACIONES

- Para poder determinar el volumen del reactor es necesario determinar la cinética de reacción mediante una cromatografía de gases, en la que se determine la velocidad de reacción con respecto al tiempo.
- Realizar la extracción del aceite mediante la técnica de fluidos supercríticos y así comparar el rendimiento del aceite con respecto al generado por la prensa mecánica.
- En cuanto al alcohol empleado (metanol) se recomienda utilizar otro alcohol que provenga de una fuente renovable, para contribuir a la seguridad energética.
- Realizar una cromatografía de gases para determinar la composición del aceite.
- En el balance del reactor plantear la recuperación del alcohol para determinar que tanto influye en los costos operación.
- Estimar consumo energético mediante una cromatografía de gases que permita conocer la composición química del aceite y biodiésel, para conocer los límites de operación de cada equipo.

BIBLIOGRAFIA

A. P. Vyas, J. L. Verma, and N. Subrahmanyam. A review on FAME production processes. p. 1-9

Agricultura & Ganadería. Agricultura & Ganadería . [En línea]. [Consultado: 7 de ABRIL 2019]. Disponible en: <https://www.agriculturayganaderia.com/website/estados-unidos-autoriza-apertura-de-mercado-para-el-guacate-hass-colombiano/>.

Agronegocios. Aguacate hass llega a 15.530 hectáreas sembradas y 95.250 toneladas producidas en 2018. [En línea]. [Consultado: 24 abril de 2019]. Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/aguacate-hass-llega-a-15530-hectareas-sembradas-y-95250-toneladas-producidas-en-2018-2742436>

Alvarez Carlos. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico. [En línea]. (25 de abril de). Disponible en: https://mrv.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf

ANDERSON, James E. y VAN WINCOOP, Eric. Trade costs. Journal of Economic literature. vol. 42, nro. 3. pp. 691-751

ARBELÁEZ MARÍN, Ángela María y RIVERA QUIROZ, Marcela Patricia. Diseño Conceptual De Un Proceso Para La Obtención De Biodiesel a Partir De Algunos Aceites Vegetales Colombianos. Diseño Conceptual De Un Proceso Para La Obtención De Biodiesel a Partir De Algunos Aceites Vegetales Colombianos. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Procesos, 2007.

Artículo Sustantivo del trabajo. a.

Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiésel / IICA, Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles . [En línea]. Disponible en: http://euroclimaplus.org/images/Publicaciones/Biocombustibles/LAC_IICA_Biodiesel_Atlas.pdf.

BBC News Mundo. Cambio climático: qué es el carbono azul y por qué es tan importante contra el calentamiento global. En: La Opinión. Los Angeles, Calif. Jan 22,.

Bernal, Jorge y Venezuela José. CONTENIDO DE LÍPIDOS Y COMPOSICIÓN RELATIVA DE LOS ÁCIDOS GRASOS EN PULPA DE AGUACATE 'HASS' COSECHADOS EN EL TRÓPICO ANDINO DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA. [En línea]. (17 septiembre). [Consultado: 11 abril 2019].

Disponible en:
http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_389.pdf

BOCANEGRA, Jenny Paola; MALAGÓN, Dionisio Humberto y LÓPEZ, Luisa Fernanda. Obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina por transesterificación. Ingeniería y Universidad. 2015, vol. 19, nro. 1. pp. 155

BROAD, Mary L. y NEWSTROM, John W. Transfer of Training: Action-Packed Strategies To Ensure High Payoff from Training Investments. Corporate and Professional Publishing Group, Addison-Wesley Publishing. 1992.

C. de la republica de Colombia. Ley 939 de 2004. Colombia: 2004. 3 p.

CASTAÑEDA LOZANO, Francisco Javier. Puesta En Marcha De Instalación Para Síntesis De Biodiesel. Síntesis Y Caracterización De Biodiésel Obtenido a Partir De Aceites Vegetales. Puesta En Marcha De Instalación Para Síntesis De Biodiesel. Síntesis Y Caracterización De Biodiésel Obtenido a Partir De Aceites Vegetales. E.T.S.I. Industriales (UPM), 2017.

Ceballos María Y Montoya Sandra. EVALUACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA EN SEMILLA, PULPA Y CÁSCARA DE TRES VARIEDADES DE AGUACATE. [En línea]. [Consultado: 17 abril de 219]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a13.pdf>

CEBALLOS P, ADELA MARÍA y MONTOYA B, SANDRA. EVALUACIÓN QUIMICA DE LA FIBRA EN SEMILLA, PULPA Y CÁSCARA DE TRES VARIEDADES DE AGUACATE. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2013, vol. 11, nro. 1. pp. 103-112

Colombia tendrá seis plantas de producción de biodiesel en 2009. En: EFE News Service. Madrid. Oct 17,

CONG, A.. A Standardized Method for Extraction of Lipids and Oxidation Characterization.

CONG, J. et. Using canola Oil Biodiesel as an Alternative Fuel in Diesel Engines. [En línea]. [Consultado: 18 abril 2019]. Disponible en: www.mdpi.com/2076-3417/7/9/881/htm#fig_body_display_applsci-07-00881-f008

Congreso de Colombia. Ley 693 de septiembre 19 de 201. Colombia: 2001. 2-3 p.

Cuál Es El Panorama Del Sector En Colombia Evidenciado En Cifras? Cuál Es El Panorama Del Sector En Colombia Evidenciado En Cifras? Bogota: Grupo de Diarios América, 2019a.

Decantación- Flotación. [En línea]. [Consultado: 23 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/Decantacion%20flotacion%20Degremont.pdf>

DREHER, Mark L. y DAVENPORT, Adrienne J. Hass Avocado Composition and Potential Health Effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2013, vol. 53, nro. 7. pp. 738-750

ESTUDIO FINANCIERO. [En línea]. [Consultado: 26 octubre 2019]. Disponible en: <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/jbm/4.pdf>

Fedepalma. Mercado de biocombustibles en Colombia. [En línea]. [Consultado: 5 abril 2019]. Disponible en: <http://www.palmadeaceite.org/>

Felder. Principios elementales de los procesos químicos. 3ed ed. México: Limusa Wiley, 2004. 686 p.

FONTALVO, M. aceite de plama africana (*Elae guineensis*): Alternativa de recurso energético para la producción en Colombia y su impacto ambiental. [En línea]. [Consultado: 31 marzo 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Reaccion-de-transesterificacion-de-trigliceridos-Figura-1-Transesterification_fig1_273304247

GE, Jun; YOON, Sam y CHOI, Nag. Using Canola Oil Biodiesel as an Alternative Fuel in Diesel Engines: A Review. *Applied Sciences*. 2017, vol. 7, nro. 9. pp. 881

GRAU VILALTA, Ma Dolors. Estudio del comportamiento de reactores discontinuos y semicontinuos: modelización y comprobación experimental [en línea] Universitat Politècnica de Catalunya,

GRAU, Dolors. . ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE REACTORES DISCONTINUOS Y SEMICONTINUOS: MODELIZACIÓN Y COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL. [En línea]. (septiembre). [Consultado: 23 noviembre 2019]. Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6463/02_grauVilalta_capitol_1.pdf

INDUCAM. Prensa mecánica . [En línea]. [Consultado: 22 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.inducam.com.co/prensa-libc-3/>.

Lombana Jahir. Análisis del sector biodiesel en Colombia y su cadena de suministro. Universidad del norte, 2015.

Lopez Diego. Obtención de biodiésel a partir de residuos de aguacate producido mediante el método de transesterificación en un reactor tipo batch [en línea] Libre, 2017.

Lucid chart. Diagramas. [En línea]. [Consultado: 20 septiembre 2019]. Disponible en: https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo-de-procesos#section_0

RESOLUCIÓN 2154 DE 2012 (agosto 2) . (8 agosto). 2012.

Normas Técnicas y certificación, (INCONTEC). Frutas frescas Aguacate variedad hass. Especificaciones. [En línea]. [Consultado: 24 de abril 2019]. Disponible en: <http://www.analdex.org/wp-content/uploads/2016/02/END-094.pdf>

PAUL, Anawe A. L. y ADEWALE, Folayan J. Data on optimization of production parameters on Persea Americana (Avocado) plant oil biodiesel yield and quality. Data in Brief. 2018, vol. 20, pp. 855-863

PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA. [En línea]. [Consultado: 25 abril 2019]. Disponible en: https://mrv.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_co

PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA: Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas. [En línea]. [Consultado: 25 abril del 2019]. Disponible en: https://mrv.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf

PRAUSNITZ, J. M. Molecular thermodynamics of fluid-phase equilibria. United States: 1999.

Project Management. . [En línea]. [Consultado: 15 octubre 2019]. Disponible en: <https://obsbusiness.school/int/blog-project-management/viabilidad-de-un-proyecto/costos-directos-e-indirectos-de-un-proyecto>

Publicación de la naciones unidas. La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible. [En línea]. [Consultado: 15 de agosto de 2019]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf. ISBN: 978-92-1-058643-6

QIN, Xiaoli y ZHONG, Jinfeng. A Review of Extraction Techniques for Avocado Oil. Journal of Oleo Science. 2016, vol. 65, nro. 11. pp. 881-888

RENGIFO, Pedro G., et al. CARACTERIZACIÓN Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE PALTA Persea Americana MILL. CARACTERIZACIÓN Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL ACEITE DE LA

SEMILLA DE PALTA Persea Americana MILL. Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2017.

RICO, J. ENERGÍAS RENOVABLES. Es posible que el hueso del aguacate tenga un poder calorífico. [En línea]. [Consultado: 20 abril de 2019]. Disponible en: <https://www.energias-renovables.com/es-imposible-que-el-aguacate-tenga-un-20161208>>

RICO, J. ENERGÍAS RENOVABLES. Es posible que el hueso del aguacate tenga un poder calorífico. [En línea]. [Consultado: 14 abril 2019]. Disponible en: http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/D-E-F/FernandezDiego1983.pdf

RODRÍGUEZ, Arzate. ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DE CINCO MANTECAS DETERMINADO MEDIANTE UN MICROMÉTODO. vol. 1, nro. 1. pp. 937-942

SHARMA, Singh y. Upadhyay. Advancements in development and characterization of biodiesel. 2018. 2355-2373 p.

SMITH, Joseph M. Chemical engineering kinetics. 2. ed. ed. Tokyo [u.a.]: McGraw-Hill Kogakusha, 1991.

The engineering toolbox. Herramientas de ingeniería. [En línea]. [Consultado: 20 septiembre 2019]. Disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/pfd-process-flow-diagram-d_465.html

TORO, C. CALENTAMIENTO GLOBAL. [en línea]Universidad de puerto rico, 2007.

TORRES-RIVERO. Efecto de la temperatura y del tiempo de reacción sobre la esterificación y la transesterificación de aceites comestibles usados. vol. 4, nro. 13. pp. 19-35

TORRES-RIVERO, Ligia. Efecto de la temperatura y del tiempo de reacción sobre la esterificación y la transesterificación de aceites comestibles usados. 2017, vol. 4, nro. 13. pp. 19-35

UNAM. Análisis de riesgo y portafolios de inversión. [En línea]. [Consultado: 24 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.economia.unam.mx/profesores/blopez/Riesgo-Pres3.pdf>

UNAM. Inversiones. [En línea]. [Consultado: 23 noviembre 2019]. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/huejutla/administracion/evaluacion%20de%20proyecto%20de%20inversion/clasificacion_de_las_inversiones.pdf

Universidad politécnica de Catalunya. Introducción a los tipos de intercambiadores de calor. [En línea]. [Consultado: 23 de noviembre 2019]. Disponible en: <http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/evaporadors.html>

Valor metro cuadrado Bogotá 2019: conócelo y planifica tu inversión. [En línea]. [Consultado: 30 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.vivendo.co/actualidad/valor-metro-cuadrado-bogota-2019-conocelo-y-planifica-tu-inversion>.

VYAS, Amish P.; VERMA, Jaswant L. y SUBRAHMANYAM, N. A review on FAME production processes. Fuel. 2010, vol. 89, nro. 1. pp. 1-9

ANEXOS

Anexo A.

TABLAS DE CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA DE AGUACATE HASS

Dimensiones del aguacate Hass.

Unidad	Peso fruto (g)	Peso cascara (g)	Peso pulpa (g)	Peso semilla (g)	Largo fruto (cm)	Ancho fruto (cm)
1	140,5	18,6	92,3	28,6	7,3	5,3
2	144,5	19,6	104,3	19,1	8,2	5,8
3	119,4	16,7	86,2	15,5	7,4	4
4	129,8	18,6	93,6	16,8	7,9	4,3
5	138,5	21,3	97,4	19,1	7,4	5,3
6	136,3	16,1	88,9	30,6	7,9	5,2
7	120,1	18,1	84,4	17,1	7	5,2
8	110,4	14,7	80,2	14,7	7,2	4,9
9	136,7	19,8	91,7	24,4	7,3	5,4
10	105,8	16,7	76,2	11,9	6,5	5,1
11	151,5	21,1	110,7	19,1	8,4	4,8
12	128,1	17,1	96,3	14,1	8,3	4,8
13	148	16,7	109,8	20,9	8,1	5,2
14	127,6	20,7	85	20	7,8	5
15	118,8	18,3	86,4	12,8	7,6	4,7
16	155,1	24,5	108	20,7	8,2	5,7
17	136,7	17,6	92,1	25,2	7,5	5,2
18	137,6	16,7	110	9,7	7,3	5,3
19	119,5	18,2	88,5	11	7,5	5
20	158	23,2	115,7	18,2	9	5,5
Promedio	133,145	18,715	94,885	18,475	7,69	5,085

Fuente: Elaboración propia

Dimensiones de la semilla

Unidad	Ancho (mm)	Largo (mm)
1	27,65	30,25
2	25,41	26,14
3	25,62	25,14
4	26,45	28,25
5	14,35	16,87
6	29,32	32,54
7	26,47	27,41
8	15,65	16,27
9	29,47	30,25
10	10,26	14,32
11	16,21	18,98
12	13,47	15,36
13	26,25	33,35
14	29,95	34,25
15	14,87	18,26
16	27,14	30,14

17	25,95	24,62
18	10,26	9,34
19	23,95	26,82
20	26,35	33,21
Promedio	26,28	33,6

Fuente: Elaboración propia

Humedad en base seca para cada semilla.

UNIDAD	PESO CRISOL (g)	PESO MUESTRA (g)	PESO SECO (g)	M1	M2	HUMEDAD
1	35,01	14,26	41,43	49,27	41,43	54,98
2	40,69	4,61	42,68	45,30	42,68	56,83
3	21,11	11,89	25,23	33,01	25,23	65,37
4	22,20	7,90	24,90	30,10	24,90	65,76
5	31,63	10,01	35,73	41,64	35,73	59,00
6	40,79	15,60	48,19	56,39	48,19	52,58
7	20,77	8,49	24,10	29,26	24,10	60,79
8	20,08	6,57	22,77	26,65	22,77	59,02
9	36,14	14,22	42,62	50,36	42,62	54,46
10	22,94	5,73	25,13	28,67	25,13	61,73
11	20,53	11,30	25,17	31,83	25,17	58,95
12	22,50	6,29	24,71	28,79	24,71	64,83
13	38,60	10,45	43,15	49,05	43,15	56,50
14	21,64	10,13	25,94	31,77	25,94	57,52
15	19,50	7,37	22,30	26,87	22,30	61,97
16	22,28	9,62	26,59	31,90	26,59	55,21
17	21,72	11,30	26,25	33,02	26,25	59,92

18	22,79	3,84	23,61	26,63	23,61	78,64
19	37,90	5,92	38,86	43,82	38,86	83,74
20	40,63	10,27	44,50	50,90	44,50	62,32
Promedio						61,50727459

Fuente: Elaboración propia

Base húmeda para cada semilla

UNIDAD	PESO CRISOL (g)	PESO MUESTRA (g)	PESO SECO (g)	M1	M2	HUMEDAD
1	33,71	13,14	39,65	46,85	39,65	54,73
2	24,44	3,94	26,18	28,38	26,18	55,78
3	25,27	13,23	30,13	38,51	30,13	63,29
4	38,33	8,30	41,43	46,62	41,43	62,64
5	38,95	8,24	42,38	47,19	42,38	58,46
6	16,98	14,10	23,54	31,07	23,54	53,40
7	42,20	8,05	45,35	50,25	45,35	60,95
8	27,53	7,69	30,76	35,22	30,76	58,02
9	32,79	9,66	37,24	42,46	37,24	53,97
10	37,76	5,87	39,60	43,63	39,60	68,66
11	25,64	9,48	28,51	35,12	28,51	69,81
12	36,62	7,34	40,00	43,96	40,00	53,92
13	27,47	9,76	31,20	37,24	31,20	61,81
14	30,14	9,27	34,34	39,41	34,34	54,76
15	26,91	4,79	28,89	31,71	28,89	58,67
16	30,22	10,60	35,25	40,81	35,25	52,52
17	35,38	13,23	41,36	48,60	41,36	54,75
18	39,28	5,16	40,25	44,44	40,25	81,21
19	26,20	4,53	27,04	30,73	27,04	81,37
20	25,07	7,52	28,40	32,60	28,40	55,79
promedio						60,73

Fuente: Elaboración propia

Cenizas al ambiente para cada unidad

Unidad	Peso Capsula Cenizas (g)	Peso Capsula vacía(g)	Peso Muestra (g)	%Cenizas
1	33,86	33,71	39,65	2,58
2	24,48	24,44	26,18	2,40
3	25,43	25,27	30,13	3,21
4	38,40	38,33	41,43	2,45
5	39,04	38,95	42,38	2,64
6	17,14	16,98	23,54	2,55
7	42,32	42,20	45,35	3,62
8	27,60	27,53	30,76	2,30
9	32,91	32,79	37,24	2,57
10	37,84	37,76	39,60	4,69
11	25,71	25,64	28,50	2,23
12	36,73	36,62	40,00	3,35
13	27,55	27,47	31,20	2,04
14	30,24	30,14	34,34	2,31
15	26,96	26,91	28,89	2,31
16	30,30	30,22	35,25	1,73
17	35,52	35,38	41,36	2,39
18	39,32	39,28	40,25	4,08
19	26,23	26,20	27,04	3,31
20	25,15	25,07	28,40	2,32
Promedio				2,75

Fuente: Elaboración propia.

Cenizas en seco para cada unidad

Unidad	Peso Capsula Cenizas (g)	Peso Capsula vacía(g)	Peso Muestra (g)	%Cenizas
1	25,82	25,64	6,42	2,72
2	60,64	60,59	1,93	2,48
3	31,97	31,84	4,12	3,05
4	37,69	37,62	2,70	2,54
5	47,57	47,49	4,10	2,09
6	24,79	24,62	7,40	2,28
7	25,08	24,95	3,33	3,79
8	29,55	29,51	2,70	1,48
9	28,73	28,60	6,48	2,01
10	26,21	26,15	2,19	2,82

11	23,89	23,79	4,64	2,15
12	32,82	32,74	2,21	3,43
13	28,86	28,77	4,55	1,86
14	30,79	30,69	4,30	2,52
15	23,37	23,30	2,80	2,55
16	34,85	34,76	4,31	1,93
17	38,47	38,34	4,53	2,91
18	30,83	30,80	0,82	3,66
19	26,32	26,28	0,96	4,49
20	34,42	34,31	3,87	2,74
Promedio				2,67

Fuente: Elaboración propia

Anexo B

ECUACIONES PARA LA DETERMINACION DEL VOLUMEN DE METANOL

- Relación molar 1:8

$$10g \text{ de aceite} * \left(\frac{1 \text{ mol de aceite}}{230,33 \text{ g}} \right) * \left(\frac{8 \text{ mol metanol}}{1 \text{ mol de aceite}} \right) * \left(\frac{32,04g}{1 \text{ mol metanol}} \right) * \left(\frac{1mL \text{ metanol}}{0,82587g} \right) = 13,47mL \text{ metanol}$$

- KOH (1%):
%KOH= 10g*0,01=0,1

- Relación molar 1:8

$$10g \text{ de aceite} * \left(\frac{1 \text{ mol de aceite}}{230,33 \text{ g}} \right) * \left(\frac{8 \text{ mol metanol}}{1 \text{ mol de aceite}} \right) * \left(\frac{32,04g}{1 \text{ mol metanol}} \right) * \left(\frac{1mL \text{ metanol}}{0,82587g} \right) = 13,47mL \text{ metanol}$$

- KOH (1,5%):
%KOH= 10g*0,015=0,15

- Relación molar 1:10

$$10g \text{ de aceite} * \left(\frac{1 \text{ mol de aceite}}{230,33 \text{ g}} \right) * \left(\frac{10 \text{ mol metanol}}{1 \text{ mol de aceite}} \right) * \left(\frac{32,04g}{1 \text{ mol metanol}} \right) * \left(\frac{1mL \text{ metanol}}{0,82587g} \right) = 16,84mL \text{ metanol}$$

- KOH (1%):
%KOH= 10g*0,01=0,1

- Relación molar 1:10

$$10g \text{ de aceite} * \left(\frac{1 \text{ mol de aceite}}{230,33 \text{ g}} \right) * \left(\frac{10 \text{ mol metanol}}{1 \text{ mol de aceite}} \right) * \left(\frac{32,04g}{1 \text{ mol metanol}} \right) * \left(\frac{1mL \text{ metanol}}{0,82587g} \right) = 16,84mL \text{ metanol}$$

- KOH (1%):
%KOH= 10g*0,015=0,15

Anexo C COTIZACIONES DE COSTOS DE EQUIPOS DEL RPOCESO



ACEQ LABORATORIOS
Accesorios y Equipos
S.A.S.
NIT 901.153.176-9
CR 92 162 40 IN 15 AP 4057
Tel: 3134788252
Bogotá - Colombia

Cotización
No. C-2-75
UNIVERSIDAD ECCI
860.401.496-0
2020-02-14

Para :
NE:
Fecha :

¡Estimado cliente! Dando atención a tu solicitud te enviamos la siguiente oferta:

Item	Código	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total	Fotos
1	HRM1002	Horno-Estufa de secado 75 Lts. Conveccion Natural a 220°C. Control Digital tipo PID. Temporizadores 59hr-59Min-59Seg. Camara Interna en Acero Inoxidable. Dimen. Útiles (a*Pb): 40*40*47cm. Marca: ACEQ	Und.	1,00	5.613,100.00	5.613,100.00	Ver
Total Bruto						5.613,100.00	
Subtotal						5.613,100.00	
IVA 19%						1.066.489.00	
Total a Pagar						6.679.689.00	

Validez de la oferta: Febrero 29 de 2020
Garantía: Un (1) año por defectos de fabricación
Observaciones: Incluye gasto de envío
Tiempo de entrega: 10 a 15 días hábiles
Forma de pago: 30 Días

Opciones de pago:

Si desea hacer una transferencia bancaria o consignación:
 Cuenta Ahorros No. 477900117250 de Davivienda, a nombre de ACEQ LABORATORIOS S.A.S

Para aprobación de la presente cotización, por favor enviar orden de compra al correo: ventas@aceqlaboratorios.com.co

JENNY SALGADO
 Auxiliar Administrativo
ventas@aceqlaboratorios.com.co
 3134788252



INDUCAM SL SAS - Nit. 901.201.577-9

PRENSA LIBC3, esta Prensa diseñada para el uso comunitario, en cooperativas, pequeñas empresas, etc.

Motor: Accionamiento 3.73 Kw · 220 V - 60 Hz

Velocidad: 60 rpm.

Sistema de calefacción: resistencia de 350W. 220 v

Sistema controlador de temperatura: de medio ambiente hasta 450 grados centigrados.

Rendimiento	Paso de semilla por hora (en kg)	Volumen de aceite por hora (en kg)	Paso de semilla por 24 hora (en kg)	Volumen de aceite por 24 horas (en kg)
Higuerilla	53	18 A 21	1272	432 A 504
Jatropha	53	16 A 19	1272	384 A 456
Coco deshidratado	60	60%	1440	864
Sacha inchi	50 a 60	35%	1200 - 1440	420 a 504



Esta máquina es fabricada en acero inoxidable 304 para alimentos tiene un costo de \$20'680.000 pesos colombianos más IVA. Los gastos de envío no están incluidos

Anexo D COTIZACIONES DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN



[CONSTRUCCIÓN Y FERRISTERIA](#)
[PISOS, PINTURAS Y ACABADOS](#)
[HERRAMIENTAS Y MAQUINARIA](#)
[BAÑO Y COCINA](#)
[ELECTRO, TECNO Y CLIMATIZACIÓN](#)
[MUEBLES Y ORGANIZACIÓN](#)
[DECORACIÓN E ILUMINACIÓN](#)
[AIRE LIBRE, JARDIN Y MASOCTOS](#)
[AUTOMOVILES Y CARCENTER](#)
[PROYECTOS E IDEAS](#)
[SERVICIOS Y PROYECTOS](#)



Precio corresponde a la ubicación de **CUNDINAMARCA**
 El precio puede cambiar al modificar la zona de envío o retro.

\$ 49.400 UNL
 Acumulas: 49 CMR Puntos

[Características del producto](#)

1

Calcula el valor de tu cuota CMR

Nº de cuotas	Valor de la cuota
1	\$ 49.400

Métodos de envío y retro

- Envío a domicilio [Ver opciones](#)
- Retira tu compra en tienda [Ver opciones](#)
- Disponibilidad en tiendas [Ver stock](#)

Medidores de calidad del aceite

5%



FOM 330-4-SET

NUEVO: Medidor EBRO de calidad del aceite de freír

- ✓ Envío GRATIS en pedidos > 200 €
- ✓ En stock. Entrega en 24/48 horas

~~360,00 €~~ **342,00 €**

INDICADOR DE PRESION DE VACIO MARCA WINTERS

CONDICIÓN: Nuevo producto
 Rango: 30 in Hg a 30 PSI
 Manometro en caja de acero inoxidable
 Diametro: 2 1/4"
 Conexión vertical 1/2"

El precio ofertado incluye: Certificado de calibracion de fabrica

\$115.668 impuestos inc. \$115.668 por 115668





CONTROLADOR DE NIVEL DE LÍQUIDOS

CÓDIGO: N0006008

\$261.690

Precio incluye IVA

Disponibilidad: En existencias

3 electrodos, 1 relé; SPDT 220 V, 8 A, conexión 1 1/2 BSP

1 + - **Agregar** **Cotizar**

Tweet Share

Hover to zoom



VARIADOR DE VELOCIDAD BDI50-1004-KXX-2M-N 0.4 KW

Marca: GEFRAN
Referencia: BDI501004KXX2MN
Disponibilidad: En Stock

\$160.99USD

Cantidad

Añadir al Carro

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	Borrar
	P153080 TR110	Transmisor de temperatura, finetek, Entrega: 5 DIAS Catalogo	1	200.000	200.000	

[Agregar otros productos](#)
[Agregar mas transmisores-de-temperatura](#)

Precios en Pesos Colombianos	SubTotal : \$	200.000
	Des. 0 %: \$	0
	Flete: \$	15.000
	Sub. Con Des. y Flete: \$	215.000
	IVA : \$	40.850
	Total : \$	255.850

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	Borrar
	P153080 TR110	Transmisor de temperatura, finetek, Entrega: 5 DIAS Catalogo	1	200.000	200.000	
	122203 T4YIN4NPOC	Indicador de temperatura 1 zona 72x36 mm, PT-100, -99.9 a 199.9 °C, 4 Digitos LED rojo, 100 - 240VAC, 72x36 mm, autonic, Entrega: Inmediata Catalogo	1	252.540	252.540	
	P241639 CPFR-WS-240-33	Indicador de nivel de combustible analogo, wema, Entrega: 10 DIAS Catalogo	8	259.060	2.072.480	
	102613 74383-SR12MRDC	Controlador logico programable PLC baja gama expandible entradas analogas, 12-24VDC, 6 analogas 0-10 V DC, 4 relevos - 10 A, Incluido, programacion bloques FDB, array, Entrega: Inmediata Catalogo	1	544.608	544.608	



Nuevo

Indicador De Nivel De Medidor De Tanque De Combustible Para

\$ 146.440

Stock disponible

36 cuotas de \$ 4.068



Más información

Entrega a acordar con el vendedor
Medellin, Antioquia
Ver costos de envío

Cantidad: 1 Unidad (3 disponibles)

Anexo E COTIZACIONES DE MUEBLES Y ENSERES



Precio corresponde a la ubicación de CUNDINAMARCA
El precio puede cambiar al modificar la zona de envío o retiro.

\$ 279.900 UND
Acumulas: 279 CMR Puntos

Características del producto ▾

1

+

-

Agregar al carro 🛒

Agregar a mi lista

Calcula el valor de tu cuota CMR

N° de cuotas	Valor de la cuota
1	\$ 279.900

Métodos de envío y retiro

- Envío a domicilio [Ver opciones](#)
- Retira tu compra en tienda [Ver opciones](#)
- Disponibilidad en tiendas [Ver stock](#)

Comparar



★ ★ ★ ★ ★ (0)

HP
Portatil Aio HP Core I3 4Gb 1Tb
23.8 Pulgadas W...

SKU: 451179

PRECIOINTERNET

\$1.509.900 c/u

Ahorro: \$40.000 c/u

Precio Normal \$1.549.900 c/u



★ ★ ★ ★ ★ (0)

Epson
Impresora Epson L3150 Wi-Fi

SKU: 435242

PRECIOINTERNET

\$599.900 UND

Ahorro: \$65.000 UND

Precio Normal \$664.900 UND

Anexo F

Tabla de energía ENEL para el año 2019

ÁREAS COMUNES NIVEL DE TENSIÓN 1			
MODALIDAD (Todo consumo)	PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)
E1	528.0388	528.0388	489.3717
E2	528.0388	528.0388	489.3717
E3	528.0388	528.0388	489.3717
E4	528.0388	528.0388	489.3717
E5 y E6, Industria y Comercial	633.6466	633.6466	587.2460
Exenta de contribución	528.0388		489.3717

SECTOR RESIDENCIAL NIVEL DE TENSIÓN 1			
ESTRATO (E)	RANGO DE CONSUMO (kWh/mes)	PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)
E1	0-CS (+) Más de CS	217.4177 528.0388	202.2745 489.3717
E2	0-CS (+) Más de CS	271.7720 528.0388	252.8433 489.3717
E3	0-CS (+) Más de CS	448.8330 528.0388	415.9659 489.3717
E4	0-CS (+) Más de CS	528.0388	528.0388
E5	Todo consumo	633.6466	587.2460
E6	Todo consumo	633.6466	587.2460

(+) CS: Consumo de Subsistencia

SECTOR NO RESIDENCIAL						
	NIVEL 1 PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)	NIVEL 2 PROPIEDAD COMPARTIDA (*) (\$/kWh)	NIVEL 2 PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)	NIVEL 3 (34.5 kV) (\$/kWh)	NIVEL 4 (115 kV) (\$/kWh)
ORIGINAL SIN CONTRIBUCIÓN	528.0388	489.3717	508.7053	422.1959	390.8375	342.0953
INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	533.6187	494.9516	514.2852	427.0718	393.5294	342.9765
COMERCIAL CON CONTRIBUCIÓN	528.0968	487.4297	506.7633	420.6133	384.6311	338.5525
INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	640.3424	593.9419	610.4464	506.6351	469.0050	410.5144
INDUSTRIAL CON CONTRIBUCIÓN	631.3162	584.9156	608.1160	512.4862	472.2353	411.5718
INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	529.5559	490.8968	510.2204	504.7360	467.5573	406.2630
INDUSTRIAL CON CONTRIBUCIÓN	528.0745	489.4074	508.7410	423.3549	390.2480	342.0953
INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	635.4647	589.0642	612.2945	508.0259	470.4625	406.2630
INDUSTRIAL CON CONTRIBUCIÓN	633.6884	587.2889	610.4892	506.8577	468.2976	406.2630

COSTO UNITARIO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO -CU- (\$/kWh), Resolución CREG - 119 de 2007							
PROPIEDAD	Generación Gm./J	Transmisión Tm	Distribución Dm	Comercialización Cms./J***	Pérdidas Pm.m./J	Restricciones Rm	CU(m.kWh)
NIVEL 1 PROPIEDAD COMPARTIDA	221.5731	36.9686	173.1920	47.9901	40.0331	8.2819	528.0388
NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CLIENTE	221.5731	36.9686	153.8686	47.9901	40.0331	8.2819	508.7053
NIVEL 2	221.5731	36.9686	134.5249	47.9901	40.0331	8.2819	489.3717
NIVEL 3	221.5731	36.9686	96.2786	47.9901	11.1036	8.2819	422.1959
NIVEL 4	221.5731	36.9686	66.3414	47.9901	10.8824	8.2819	380.8375
CU(m) (\$/hecture)***	221.5731	36.9686	22.0381	47.9901	5.2435	8.2819	342.0953

Procesos3.biblioteca.uamerica.edu.co