



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
“ZARAGOZA”**

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE
BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE DESECHOS
DE SEMILLAS DE DURAZNO
(*Prunus persica*)”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

PRESENTA

NAYELI PARDINEZ MARTÍNEZ

Director de tesis: Dr. Benito Reyes Trejo
Asesor: Dr. Holber Zuleta Prada



Cd. de México. 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



A mis reactivos:

Martín, Graciela, Itzel, Diana Laura y Martín Yoav

DEDICATORIAS

A Dios, por mis padres, por mis hermanos, por mi familia, por la vida y por su compañía en el día a día.

A Graciela, mi mamá: Miro atrás y no hay momento en el que no pueda dejar de verte en mi línea de vida. Te amo mamá y siempre serás mi amiga del alma, mi confidente y en quien veo una solución a todo. Gracias por permitirme ser independiente, gracias por dejarme volar.

A Martín, mi papa: A quien jamás podré pagar todos y cada uno de sus consejos, su confianza y sus palabras, te amo papa, gracias por todo cuanto soy y cuanto me has dado, mi mejor guía, siempre serás tú.

A Itzel, mi hermana: Por ser la hermana mayor que siempre quise tener, por todos y cada uno de tus cuidados, regaños y las charlas en las madrugadas, jamás hubiese terminado la universidad, si tú no hubieses estado ahí. Te amo admanita, y así será siempre.

A Diana, mi hermana: Por cada una de sus sonrisas elocuentes, por sus ocurrencias y su enorme ternura, que me han enseñado a seguir creyendo en las cosas buenas de la vida y las personas. Te amo hermanita, con el lma, con el corazón.

A Martín Yoav, mi hermanito: Por llegar a mi vida, por recordarme lo que es la inocencia, por cada uno de tus juegos, y todo lo que me has hecho aprender, gracias por hacerme volver más temprano a casa, te amo mi niño.

A mis tíos: Verónica, Mary y Javier: Por su apoyo, sus palabras y por creer siempre en mí. Los quiero mucho.

A mis amigos, Haydee, Dianita, Chucho, José Luis, Rommel, Abigail, Alfredo, Jorge, Elizabeth, Isabel, Cesar, Sandra, Jacqueline, Raymundo, Tlakaheel y Giovanna: mi tiempo escolar y mi línea de vida nunca hubiese sido la misma sin su presencia, una parte de mi está hecha e inspirada en ustedes, son uno de los más grandes tesoros que me dio la vida.

A mis amigos Chapingueros, Erick, Mario y Víctor: Por el apoyo al realizar la tesis, por su compañía y por la amistad tan hermosa que surgió en ese laboratorio.

Y por que como dijo Platón:

He logrado ver lugares más lejanos, porque he permanecido en brazos de gigantes.

Para todos ustedes, con todo mi cariño....

Nayeli Pardinez Martínez

AGRADECIMIENTOS:

Mi más grande y profundo agradecimiento a la escuela que me forjo como Q.F.B, mi querida Universidad Nacional Autónoma de México, y muy en especial a la Facultad de Estudios Superiores “Zaragoza”, estoy segura de que escuelas hay muchas, pero aquellas que no sólo te hacen crecer como profesionista sino como persona, como grupo, como puma, muy pocas, por siempre, ¡POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU!

A la Universidad Autónoma Chapingo, por todos y cada uno de los apoyos otorgados para llevar a cabo la presente tesis, por recibirme y acogerme como si fuese uno de sus estudiantes, por el crecimiento personal y profesional que me ha otorgado, muchas gracias.

A mi director y asesores de tesis:

Al Dr. Benito Reyes Trejo: Por la oportunidad de ser parte de su grupo de trabajo desde el servicio social y la continuación a la tesis, mil gracias por todos los apoyos recibidos, por sus enseñanzas y su paciencia, valoro con el alma todos los esfuerzos realizados a la presente tesis, y tiene todo mi respeto, por que representa para mí un símbolo de amor a la ciencia.

Al Dr. Holber Zuleta Prada: Por cada una de las explicaciones otorgadas para el crecimiento de la presente tesis, por todos sus consejos no sólo profesionales, sino de vida, que me enriquecieron en el ámbito profesional y personal. Por el tiempo ameno en el laboratorio y la paciencia para concluir el presente trabajo.

A la Dra. Diana Guerra Ramírez: Por el apoyo recibido para realizar las pruebas de antioxidantes y fenoles, por las revisiones realizadas al trabajo para su mejora y de las cuales aprendí muchísimo, por cada una de sus sonrisas y su actitud siempre positiva que me contagiaron en el día a día.

A mis sinodales: Por el tiempo invertido para la revisión del presente trabajo, por sus consejos y recomendaciones que me permitieron enriquecerlo y mejorarlo, muchas gracias.

El presente trabajo tuvo una contribución científica al ser aceptado por el Comité Científico en la modalidad de cartel profesional con el título “Caracterización del aceite obtenido de semillas de durazno (*Prunus persica*) como fuente potencial no comestible en la obtención de biodiesel” y ser presentado en el 18° Congreso Mexicano de Química y 32° Congreso Nacional de Educación Química, realizado en 2013 en el estado de Guanajuato.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	14
2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. La energía renovable	16
2.2. La biomasa	17
2.3. Sistema Energético en México	18
2.4. Emisiones de gases de efecto invernadero	23
2.5. Biocombustibles	26
2.6. Biodiesel.....	27
2.7. Obtención de biocombustibles: Reacción de transesterificación	28
2.7.1. Transesterificación catalizada por ácido	29
2.7.2. Transesterificación catalizada por base.....	30
2.8. Normatividad para Biodiesel	33
2.9. Durazno (<i>Prunus persica</i>).....	35
2.10. Antioxidantes	38
2.11. Ciclopéptidos	40
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	43
4. OBJETIVOS	44
4.1. General	44
4.2. Particulares	44
5. HIPÓTESIS	44
6. MATERIAL Y MÉTODO	45
6.1. Equipo.....	45
6.2. Instrumentos	45
6.3. Materiales.....	45
6.4. Reactivos	45
6.5. Metodología	46
6.5.1. Obtención de la semilla de durazn	46
6.5.2. Caracterización de las semillas	46
6.5.3. Molienda de almendras.....	46
6.5.4. Extracción del aceite de la almendra	47
6.5.5. Tratamiento para la disminución de acidez	47
6.5.6. Rendimiento de las extracciones.....	48

6.5.7. Obtención de Biodiesel por reacción de transesterificación	48
6.5.8. Pruebas de calidad para el aceite y biodiesel	48
6.5.9. Composición química del biodiesel	50
6.5.10. Calor de combustión	50
6.5.11. Mezclas Biodiesel/ Diesel	50
6.5.12. Detección de Ciclopéptidos	51
6.5.13. Antioxidantes	53
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
7.1. Determinación de las características físicas de las semillas de desechos de durazno	56
7.2. Extracción del aceite del durazno (<i>Prunus persica</i>)	57
7.3. Caracterización del aceite de durazno (<i>Prunus persica</i>).....	58
7.4. Calor de combustión del aceite del durazno.....	60
7.5. Viscosidad cinemática, Viscosidad dinámica y Densidad del aceite de durazno.....	61
7.6. Transesterificación ácida	63
7.7. Obtención de biodiesel por reacción de transesterificación	65
7.8. Caracterización del biodiesel	68
7.9. Calor de combustión del biodiesel de durazno.....	71
7.10. Mezclas de diesel con biodiesel obtenido a partir de desechos de durazno.....	72
7.11. Determinación del calor de combustión de las mezclas de biodiesel de durazno con diesel (PEMEX)	72
7.12. Densidad, viscosidad dinámica y viscosidad cinemática de las mezclas de biodiesel de durazno con diesel (PEMEX).....	75
7.13. Detección de Ciclopéptidos	83
7.14. Método de Folan (Reactivo de Folín-Ciocalteu): Determinación de fenoles totales.	88
7.15. Determinación de la capacidad antioxidante: Método de DPPH.....	91
8. CONCLUSIONES.....	96
9. PROPUESTAS Y/O RECOMENDACIONES	97
10. ANEXOS	98
11. BIBLIOGRAFÍA	98

Índice de Esquemas

Esquema 1: Reacción de transesterificación	29
Esquema 2: Transesterificación por catálisis ácida.....	30
Esquema 3: Transesterificación catalizada por base	31
Esquema 4: Giberelinas no conocidas encontradas en <i>Prunus persica</i>	36
Esquema 5: Estructuras de los isómeros del ácido clorogénico.	37
Esquema 6: Ácidos grasos con sitios alílicos o bis-alílicos	39
Esquema 7: Ciclopéptido de la semilla de <i>Annona glabra</i>	41
Esquema 8: Ciclopéptido de la semilla de <i>Annona reticulata</i>	41

Esquema 9. Reacción de Ninhidrina con aminoácidos	42
Esquema 10: Reacción para la formación de Piperazina-2,5-diona	52
Esquema 11: Reacción de la Ninhidrina con un aminoácido	83
Esquema 12: Reacción de N-cloración del ciclopéptidos.....	84
Esquema 13: Acomodo de las muestras en la microplaca para determinación de capacidad antioxidante.....	92

Índice de figuras

Figura 1: Producción de barriles de petróleo crudo en México (miles de barriles diarios) 2011-2013	19
Figura 2: Producción de barriles de petróleo crudo en México (miles de barriles diarios) 2014-2016	19
Figura 3: Promedio Anual Precio del Petróleo Mezcla Mexicana 2006-2016	20
Figura 4: Distribución de la demanda de petróleo crudo por sector.....	20
Figura 5: Obtención de energía a partir de diversas fuentes, México 2011	22
Figura 6: Estructura de las emisiones de CO ₂ asociadas al consumo de combustible por sector, 2011	24
Figura 7. Estructura de las emisiones de GEI asociadas al consumo de combustibles por tipo energético, 2011	25

Índice de gráficas

Gráfica 1: Composición de la semilla del durazno	57
Gráfica 2. Rendimiento del aceite obtenido con relación al tipo de extracción	58
Gráfica 3: Calor de combustión del Aceite con relación al tipo de extracción.....	60
Gráfica 4: Viscosidad dinámica del aceite de durazno con respecto al tipo de extracción.....	61
Gráfica 5: Viscosidad cinemática del aceite de durazno con respecto al tipo de extracción	62
Gráfica 6: Densidad del aceite de durazno de acuerdo al tipo de extracción	62
Gráfica 7: Rendimiento del pretratamiento 3 (esterificación ácida) en el aceite de durazno	65
Gráfica 8: Rendimiento de biodiesel a partir de Aceite de durazno (previo tratamiento).....	67
Gráfica 9: Composición porcentual de los esteres metílicos de ácidos grasos presentes en el biodiesel de durazno.....	71
Gráfica 10: Calor de combustión del biodiesel de durazno y del diesel (PEMEX).....	73
Gráfica 11: Calor de combustión de mezclas de biodiesel de durazno (soxhlet) / diesel	74
Gráfica 12: Calor de combustión de mezclas de biodiesel de durazno (Maceración) /diesel.....	74
Gráfica 13: Densidad de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción Soxhlet a diferentes temperaturas.....	75
Gráfica 14: Densidad de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción maceración a diferentes temperaturas	76

Gráfica 15: Viscosidad cinemática de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción soxhlet a diferentes temperaturas	78
Gráfica 16: Viscosidad cinemática de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción por maceración a diferentes temperaturas	79
Gráfica 17: Viscosidad dinámica de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción por soxhlet a diferentes temperaturas	80
Gráfica 18: Viscosidad dinámica de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción por maceración a diferentes temperaturas	81
Gráfica 19: Curva estándar de fenoles (ácido gálico)	89
Gráfica 20: Curva del porcentaje degradado de DPPH en relación a la concentración utilizada de Trolox	93
Gráfica 21: Curva del área bajo la curva del porcentaje de DPPH degradado en relación a la concentración utilizada de Trolox	93
Gráfica 22: Curva del porcentaje degradado de DPPH en relación a la concentración utilizada de la muestra de bagazo de durazno	94
Gráfica 23: Curva del área bajo la curva del porcentaje de DPPH degradado en relación a la concentración utilizada de Trolox	94

Índice de imágenes

Imagen 1: Recolección de los duraznos	41
Imagen 2: Secado de los huesos del durazno	46
Imagen 3: Caracterización de la semilla y almendra del durazno (Prunus pérsica)	56
Imagen 4: Seguimiento de la reacción de transesterificación en CCD y separación del biodiesel de la glicerina e impurezas contenidas en el aceite tratado	66
Imagen 5: Lavado del biodiesel con ácido cítrico al 0.1 %	67
Imagen 6: Cromatograma de la composición de ácidos grasos contenidos en el biodiesel obtenido a partir de desechos de durazno	70
Imagen 7: Detección de aminoácidos con Ninhidrina	84
Imagen 8. Detección de ciclopéptidos con o tolidina	85
Imagen 9: Detección de aminoácidos conocidos con Ninhidrina	86
Imagen 10: Detección de cisteína y aspartame con Ninhidrina	86
Imagen 11: Detección de aminoácidos en las particiones del bagazo del durazno	87
Imagen 12: Detección de aminoácidos en el bagazo del durazno	88

Índice de tablas

Tabla 1. Contribución energética esperada de las fuentes de energía renovable proyectadas hacia el año 2040.....	17
Tabla 2. Opciones para el uso de residuos de biomasa	18
Tabla 3. Variación mundial de consumo de petróleo en el periodo 2008-2009 y 2010-2011	21
Tabla 4. Clasificación de los biocombustibles de acuerdo a su aspecto físico	26
Tabla 5. Ácidos grasos presentes en el Biodiesel.....	28
Tabla 6. Procesos de obtención de biocombustibles	28
Tabla 7. Valores del contenido inicial y final de ácidos grasos libres de diversas materias primas al ser tratados con transesterificación ácida	30
Tabla 8. Ventajas y desventajas del Biodiesel	31
Tabla 9. Reducciones o incrementos de emisiones en vehículos que operan con biodiesel de soya, girasol y colza, ya sea en forma pura o mezclado con diesel	32
Tabla 10. Especificaciones uso de biodiesel.....	33
Tabla 11. Características fisicoquímicas del durazno (<i>Prunus persica</i>).....	37
Tabla 12. Análisis del aceite de durazno	37
Tabla 13. Antioxidantes utilizados en el biodiesel	40
Tabla 14. Dimensiones físicas de la semilla y almendra del durazno (<i>Prunus persica</i>)	56
Tabla 15. Extracción del aceite de semilla de durazno	57
Tabla 16. Índice de acidez, yodo y saponificación del aceite del durazno.....	58
Tabla 17. Calor de combustión del aceite de durazno (<i>Prunus persica</i>) con relación al tipo de extracción.....	60
Tabla 18. Propiedades fisicoquímicas del aceite de durazno	61
Tabla 19. Pretratamientos: Esterificación ácida	63
Tabla 20. Rendimiento del pretratamiento 3 (esterificación ácida)	64
Tabla 21. Relación de reactivos para la obtención de biodiesel por reacción de transesterificación.....	65
Tabla 22. Rendimiento de biodiesel con relación al tipo de extracción.....	66
Tabla 23. Rendimientos obtenidos: aceite, esterificación ácida y transesterificación básica	68
Tabla 24. Índice de acidez, yodo y saponificación del biodiesel de durazno (<i>Prunus persica</i>)	69
Tabla 25. Contenido de ácidos grasos en el biodiesel de durazno.....	70
Tabla 26. Comparación entre el calor de combustión del aceite y biodiesel de durazno obtenido por maceración y soxhlet	72
Tabla 27. Calor de combustión de mezclas de biodiesel de durazno y diesel.....	73
Tabla 28. Densidad de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (soxhlet) a diferentes temperaturas.....	75
Tabla 29. Densidad de las mezclas de diesel petroquímico/ biodiesel de durazno (maceración) a diferentes temperaturas	76

Tabla 30. Viscosidad cinemática de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (soxhlet) a diferentes temperaturas	78
Tabla 31. Viscosidad cinemática de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (maceración) a diferentes temperaturas	79
Tabla 32. Viscosidad dinámica de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (soxhlet) a diferentes temperaturas	80
Tabla 33. Viscosidad dinámica de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (maceración) a diferentes temperaturas	81
Tabla 34. Datos de la curva estándar de ácido gálico	89
Tabla 35. Absorbancias muestra de durazno	90
Tabla 36. Comparación del contenido de fenoles totales en diferentes frutos	91
Tabla 37. Relación entre la concentración de Trolox y el porcentaje de DPPH degradado	92
Tabla 38. Relación entre la concentración de Trolox y el porcentaje de DPPH degradado en el bagazo de durazno	93
Tabla 39. Capacidad relativa secuestrante de diversos frutos	95

GLOSARIO DE UNIDADES Y TERMINOLOGÍA**ABC:** Área bajo la curva**BHA:** Butilhidroxianisol**BHT:** Butilhidroxitolueno**°C:** Grados Celsius**Cal:** Caloría**CaO:** Óxido de Calcio**CCD:** Cromatografía de capa delgada**CH₂:** Metileno**CH₂Cl₂:** Cloruro de metileno**CH₃O Na:** Metóxido de Sodio**CO₂:** Dióxido de Carbono**DOF:** Diario Oficial de la Federación**DPPH:** 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil**EC₅₀:** Concentración efectiva 50**g:** gramo**GEI:** Gases de efecto invernadero**h:** horas**H₂O:** Agua**HCl:** Ácido clorhídrico**H₂SO₄:** Ácido Sulfúrico**I₂:** Yodo**I.Y:** Índice de yodo**I.S:** Índice de Saponificación**K:** Kelvin**Kg:** Kilogramo**kJ:** Kilo Joules**KOH:** Hidróxido de Potasio**LAERFTE:** Ley para aprovechamiento de las energías renovables y financiamiento para la transición energética**LPDB:** Ley de promoción y desarrollo de biocombustibles**µL:** Microlitros**m:** metro**mbd:** miles de barriles diarios**MeOH:** Metanol**min:** minuto**mL:** mililitro**mm:** milímetro**mM:** Milimolar**MMbdpce:** Millones de barriles de petróleo crudo equivalente**mg EAG g_{bs}⁻¹:** Miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de base seca.**Mt:** Miles de toneladas**N:** Normalidad**NaOH:** Hidróxido de Sodio**Na₂SO₄:** Sulfato de Sodio**Na₂S₂O₇:** Tiosulfato de Sodio**nm:** Nanómetros**Pa:** Pascal**PG:** Galato de propilo**PM:** Peso molecular**PK:** Protocolo de Kioto**rpm:** revoluciones por minuto**s:** segundo**RDSC:** Capacidad relativa secuestrante**TBHQ:** Terbutilhidroxiquinona**Tg CO₂ eq:** Teragramos de equivalentes de dióxido de carbono

INSTITUCIONES

ASTM: American Society for Testing and Materials

EN: European Standards

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

SENER: Secretaría de Energía

SE: Secretaría de Economía

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

INNEC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

FAOSTAT: Statistics Division of the FAO

PEMEX: Petróleos Mexicanos

1. INTRODUCCIÓN

Debido a todos los problemas que el uso de energía no renovable ha propiciado, la obtención de ésta a partir de fuentes renovables ha ido en aumento; en el caso especial de los hidrocarburos, la búsqueda de materia prima para la obtención de biodiesel ha despertado el interés de muchas investigaciones. Al ser obtenido de esteres de ácidos grasos derivados de aceites, el biodiesel representa una fuente de energía no tóxica, libre de azufre y compuestos aromáticos, fácilmente degradable y seguro de manejar (Alptekin, E. y Canackci, M. 2008). La reacción de transesterificación es el método más sencillo por el cual se puede obtener biodiesel con características similares a las del diesel (Camps, M., y Marcos, M., 2008), ésta reacción se lleva a cabo entre el aceite vegetal y/o grasa de animal (triglicérido) y un alcohol de bajo peso molecular. A lo largo de la reacción, el triglicérido pasa a ser diglicerido, posteriormente monoglicérido y finalmente glicerol, obteniendo a la par una molécula de éster metílico por cada glicérido, para al final de la reacción obtener tres moléculas de éster metílico. La adición de un catalizador es necesaria para que la reacción se lleve a cabo. El uso de catalizadores ácidos o básicos está limitado a la cantidad de ácidos grasos libres que el aceite presenta, de manera general el uso de catalizadores básicos se emplea cuando el aceite presenta una cantidad menor al 3 % de ácidos grasos libres, y de catalizadores ácidos cuando el contenido es mayor a este porcentaje. A pesar de las ventajas que el biodiesel obtenido a partir de la reacción de transesterificación han presentado, también existen desventajas que han limitado su uso, por ejemplo: los costos de la materia prima, el contenido energético generado a partir de su combustión (que es inferior al obtenido por el diesel petroquímico) y su inestabilidad a la oxidación. Además, el uso de biodiesel está regulado por normas internacionales (ASTM D6751 y EN 14214), mismas que han establecido métodos y especificaciones que el biodiesel debe cumplir antes de ser utilizado en motores de combustión interna. Entre las especificaciones más sobresalientes que el biodiesel debe cumplir se encuentran la viscosidad, la densidad, el calor de combustión, el índice de Cetano, sólo por mencionar algunas.

Existen diversas fuentes a partir de las cuales se puede obtener materia prima precursora para la obtención de biocombustibles, por ejemplo: *Jatropha curcas*, *Annona diversifolia*, aceite de soya, aceite de palma de coco, etc. A pesar de ello, el enfoque hacia nuevas fuentes de materia prima para la obtención de biodiesel ha ido en aumento. Es por ello que es importante proponer nuevas fuentes para su investigación, un ejemplo de ello es *Prunus persica*, el cual es un árbol que mide entre 4 y 6 metros de altura, que presenta hojas de forma lanceolada, anchas de 8 a 15 cm. Presenta floración desde principios de febrero hasta finales de marzo. El fruto, es normalmente de forma globosa de 5 a 7 cm de diámetro, según la variedad pueden tener epidermis vellosa o lisa, la

carne dura o blanda, de color amarillo, blanco o rojizo. Se produce a nivel internacional en países como China, Italia, Estados Unidos, etc. En México su producción abarca desde el Norte hasta el sur de la República. En cuanto a su utilidad, las investigaciones lo han reportado como un importante terapéutico, debido a la alta concentración de ácido linoleico y oleico. En 2011 Nakayama identificó 11 Giberelinas (Hormonas reguladoras de la germinación y crecimiento de plantas) conocidas y otras de las que no se tenían registros, finalmente a las hojas se les han atribuido propiedad antibacteriana, hematoprotectora, antiasmática y anticoagulante.

Para dar frente al costo de la materia prima en la producción de biodiesel, se ha propuesto implementar el uso de desechos de semilla de durazno. La caracterización fisicoquímica del aceite obtenido a partir de desechos de semilla de durazno (*Prunus persica*) podría dar pauta a considerarlo una fuente potencial para la obtención de biodiesel, el cual pueda ser mezclado con diesel petroquímico, obteniendo así mezclas biodiesel/diesel que cumpla con los parámetros establecidos en las normas internacionales (ASTM D6751 y EN 14214). La presente investigación no sólo es enfocada a la obtención de biodiesel y sus mezclas, sino también al estudio de compuestos de interés biológico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La energía renovable

La energía se obtiene de fuentes renovables y no renovables. Las fuentes no renovables y como su nombre lo indica están limitadas en cuanto a su cantidad total disponible, ejemplo de estas son el petróleo, el gas y el carbón, la energía obtenida a partir de fuentes no renovables es llamada por tanto energía no renovable. Por otra parte, las fuentes renovables se generan en procesos cíclicos, con periodos de tiempo cortos, por lo que su cantidad disponible para generar energía no está limitada, ejemplo de ello son la biomasa, la obtenida del sol y el aire, la energía obtenida a partir de fuentes renovables es llamada energía renovable. En los últimos años la generación de energía ha cobrado gran importancia, debido a que en su mayoría, al ser obtenidas de fuentes no renovables han aumentado su costo y se ha dificultado su obtención. Por otra parte el uso de energía no renovable a partir de fuentes como el petróleo ha ocasionado efectos negativos como la lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono y el cambio climático global.

El uso de fuentes renovables ha permitido tener una alternativa para la obtención de “energía limpia”, estos recursos ayudan a reducir los impactos ambientales, producir residuos secundarios mínimos, disminuir la dependencia de combustibles fósiles, crear mercados de explotación y una reducción del efecto invernadero y el cambio climático. La obtención de energía renovable ha sido tal que hoy en día ha logrado abastecer el 14 % de la demanda total de la energía del mundo, y se espera que para 2100 aumente entre 30- 80 % (Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S., 2011). La European Renewable Energy Council reportó, a partir de la situación actual de las políticas internacionales, la contribución estimada de diversas fuentes de energía renovable proyectadas hacia el año 2040, la Tabla 1 muestra un resumen de ello:

Tabla 1

Contribución energética esperada de las fuentes de energía renovable proyectadas hacia el año 2040

Tipo de energía renovable	2010	2020	2030	2040
Energía consumida en el mundo (M ton*)	10,549	11,425	12,352	13,310
Biomasa	1313	1791	2483	3271
Viento	44	266	542	688
Fotovoltaica	2	24	221	784
Geotérmica	86	186	333	493
Grandes hidroeléctricas	266	309	341	358
Pequeñas hidroeléctricas	19	49	106	189
Marina (olas/marea/océano)	0.1	0.4	3	20
Total de Energía renovable	1,745.5	2,964.4	4289	6351
Contribución de la energía renovable (%)	16.6	23.6	34.7	47.7

Nota: * M ton: Millones de toneladas.

Tomada de Panwar, N. L., Kaushik, S. C., Khotari, S., 2011

Como puede observarse en la tabla 1, hacia el año 2040 se espera que cerca del 47.7 % de la energía provenga de energías renovables, pero además, las estimaciones apuntan a que la energía renovable obtenida a partir de biomasa sea la más empleada y por tanto la de mayor aportación.

2.2. La biomasa

La Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) define a la biomasa como el conjunto de plantas terrestres y acuáticas, junto con sus derivados, subproductos y residuos producidos en su transformación. En la actualidad el uso de la biomasa como productora de energía ha aumentado el interés de las investigaciones, éste ha sido tal que el 56 % de las publicaciones en materia de energía renovable se dirige a su investigación (Manzano, F., Alcayde, A., Montoya, F.G., Zapata, A., Gil, C. , 2013). Si bien es cierto que el interés ha aumentado, también es cierto que su utilización como fuente energética ha sido controvertida, especialmente en el caso de la madera, ya que el cultivo de la misma compite contra los cultivos alimenticios y el agua dulce utilizada, además de que contribuiría a problemas de contaminación debido al uso de fertilizantes y pesticidas utilizados para su óptimo desarrollo. El uso de biomasa obtenida a partir de residuos de cultivos que son compatibles tanto con los alimentos y la producción de energía e incluso el uso de desechos orgánicos ha permitido tener un enfoque alternativo para la obtención de energía a partir de biomasa (Vazquez, I., Acevedo, J.A., y Hernández, C. 2010). Además de la obtención de energía, los residuos de biomasa pueden tener diversos usos, algunos de ellos se mencionan en la Tabla 2 (Castells, E. X., 2012).

Tabla 2
Opciones para el uso de residuos de biomasa

Opción de uso	Descripción	Ejemplo
Fertilización y conservación de suelos	Recuperación de tierras afectadas por diversas acciones	Recuperación de suelos por efecto industrial
Sustrato productivo	Uso como sustrato productivo	Lombricomposta
Alimentación humana	Uso alimenticio	Cáscaras de frutas
Alimentación ganadera	Uso alimenticio	Residuos de comida doméstica
Producción de energía	Obtención y uso de energía	Obtención de biocombustibles

Nota: Elaboración propia, con información tomada de Castells, E. X., 2012.

En la actualidad el uso de biomasa se ha enfocado a la obtención de biocombustibles líquidos, gaseosos o electricidad. A pesar de las grandes ventajas que ofrece la obtención de electricidad, la generación de biocombustibles líquidos ofrece dos grandes ventajas: su almacenaje y por tanto su transporte (Camps, M. y Marcos, M., 2008). El posible uso de residuos de biomasa para generar estos biocombustibles no sólo permitiría la utilización de estos desechos, sino que implementados en motores de combustión interna ayudarían a disminuir los gases de efecto invernadero producidos por la quema de combustibles fósiles como la gasolina o el petróleo generados por los automóviles y el transporte en general.

2.3. Sistema Energético en México

Hasta el 2006 México ocupaba el sexto lugar a nivel mundial en cuanto a reservas de Petróleo, sin embargo, a partir del 2007 tuvo un importante decaimiento que lo posicionó en el décimo quinto lugar, además de que el promedio de producción de petróleo crudo obtenido en el mismo año se ubicó en 3,081.7 miles de barriles diarios (mbd), lo que representó una disminución del 5.3 % respecto al promedio de 2006 (SENER, 2010). A lo largo de los años posteriores la línea de declive siguió, hasta el 2011, año en el que se ubicó en el lugar 18° con un aportación del 0.7 % del total de la reserva mundial, por debajo de países como Venezuela, Arabia Saudita, Canadá e Irán, por citar algunos ejemplos. En cuanto a la producción de petróleo crudo, México se ubicó en la sexta posición en el 2006 a nivel internacional mientras que en América Latina ocuparía la segunda posición. Para el 2007 la producción se ubicaría en 3,081.7 mbd, lo que representaría un 5.3 % menos con relación al 2006 (SENER, 2008). Cuatro años más tarde el país bajaría dos posiciones y ocuparía el 8° lugar, manteniendo esta posición en el 2011, con una producción de 2,958 mbd (SENER, 2013), en junio de 2013, el promedio de petróleo crudo producido llegaría a los 2,518.5 mbd, lo que significaría una disminución del 1 % con relación al año anterior (SENER, 2013). Para julio del año 2016 la producción de petróleo crudo promedió 2,157.4 mbd, 5.0 % menor que la de julio de 2015.

En la Figura 1 (SENER, 2013) puede apreciarse el declive de producción de petróleo de 2011 a septiembre de 2013 y en la Figura 2 (SENER, 2016) se aprecia el declive de la producción del año 2014 a 2016.

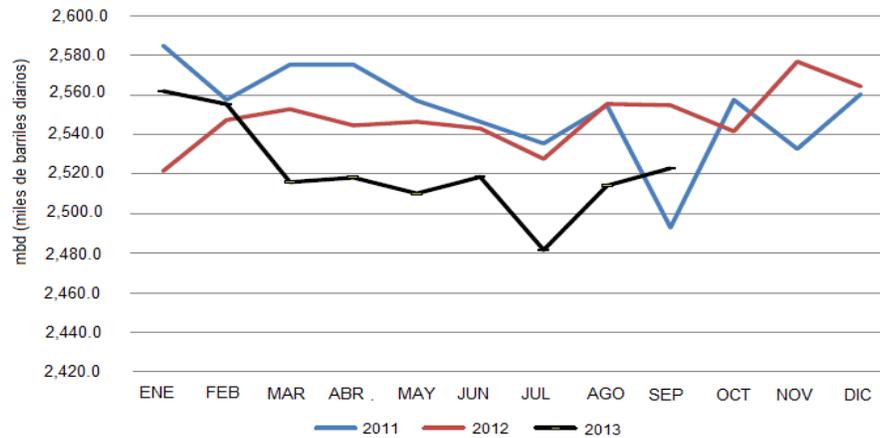


Figura 1: Producción de barriles de petróleo crudo en México (miles de barriles diarios) 2011-2013

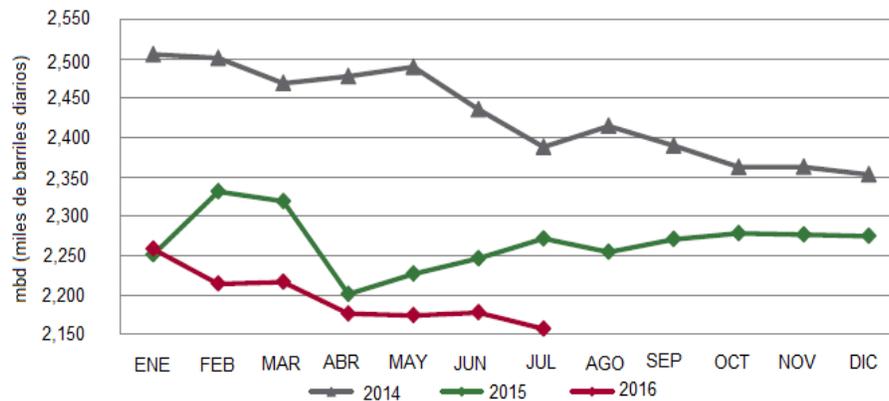


Figura 2: Producción de barriles de petróleo crudo en México (miles de barriles diarios) 2014-2016

Por otra parte, y a pesar de que el precio del petróleo es establecido respecto a las referencias nacionales (Artículo 31 de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria), ésta a su vez dependen de muchos factores, tales como la disminución del dólar, el clima de cada región, las estrategias que sigue cada industria petrolera, los conflictos geopolíticos, entre otros. Debido a ello en 2011 se alcanzó un precio promedio anual de hasta 100.92 dólares por barril, teniendo un alza en 2012 a 102.13 dólares por barril y disminuir a un promedio de 101.04 dólares por barril en 2013 (SENER, 2013) y continuar con una línea descendente en el periodo de 2014 a 2016, llegando a un promedio de 43.286 dólares por barril en 2016 (Figura 3) (SENER, 2016).

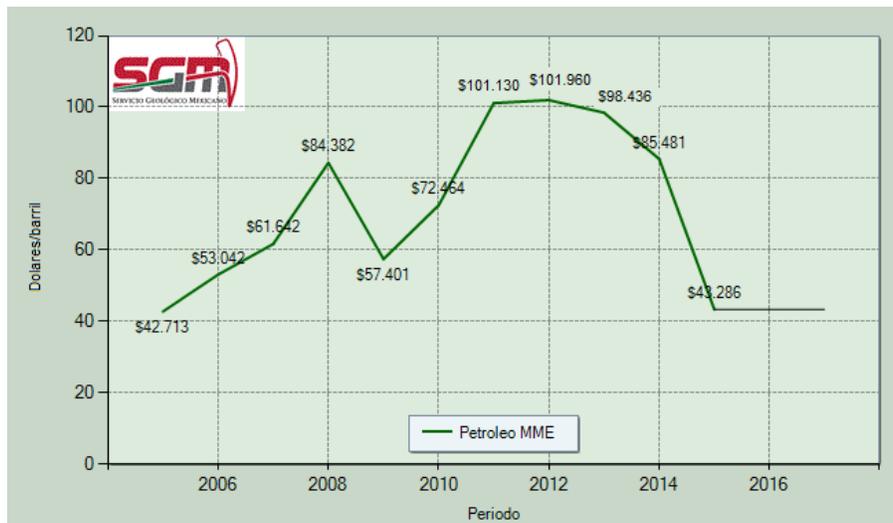


Figura 3: Promedio Anual Precio del Petróleo Mezcla Mexicana 2006-2016

La disminución y aumento en el precio del barril de petróleo, es realmente preocupante debido a la dependencia de México y el mundo hacia el uso de hidrocarburos, aunado a que la economía en México está relacionada con el precio del petróleo. La demanda de petróleo se distribuye en diferentes sectores (Industria, generación eléctrica, etc.), sin embargo, a nivel mundial hasta el año 2006 el 48 % de la distribución estaba destinada al transporte, siguiendo una línea ascendente, tal que, para el 2035 se estima sobrepase el 50 % (Figura 4), esta cifra es debido al aumento constante en el número de vehículos (SENER, 2012).

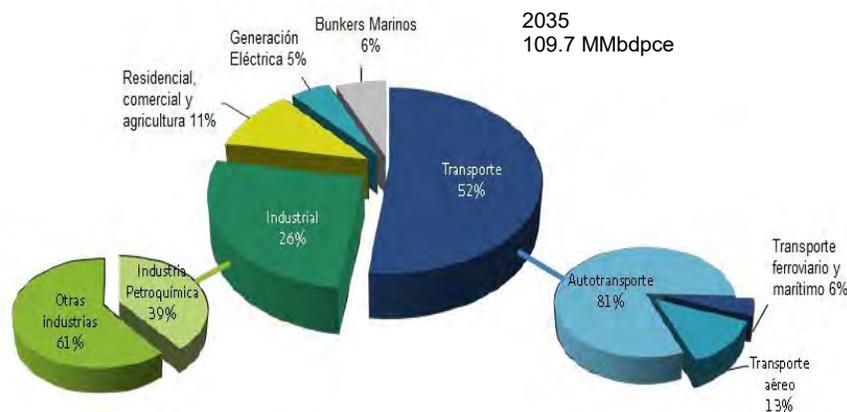


Figura 4: Distribución de la demanda de petróleo crudo por sector

Finalmente el consumo del petróleo también ha mostrado cambios importantes, históricamente en la década de los 70's e inicios de los 80's tuvo un crecimiento de manera gradual, de hecho a partir de 1983 y hasta 2007 su comportamiento fue casi lineal (SENER, 2010), sin embargo, a partir de 2008 el consumo disminuyó de tal manera que para el 2009 se dejaron de consumir 1, 162.3 mbd, lo equivalente al 1.7 % menos con respecto al año anterior. El declive tuvo su origen debido a que diversos países disminuyeron notoriamente su consumo; México presentó una disminución de 3.2 % en el periodo de 2008 a 2009, y del periodo 2010-2011 aumentó su consumo en un 0.7 %. En la Tabla 3 se citan a los países con mayor consumo de petróleo y las variaciones de su consumo en el periodo de 2008 a 2009 y de 2010 a 2011.

Tabla 3

Variación mundial de consumo de petróleo en el periodo 2008-2009 y 2010-2011

Posición	País	2008	2009	*	País	2010	2011	**
1	EUA	19,498	18,686	-4.2 %	EUA	19,180	18,835	-1.8
2	China	8,086	8,625	6.7	China	9,251	9,758	5.5
3	Japón	4,846	4,396	-9.3	Japón	4,413	4,418	0.1
4	India	3,071	3,183	3.6	India	3,332	3,473	4.2
5	Federación Rusa	2,817	2,695	-4.3	Federación Rusa	2,804	2,961	5.6
6	Arabia Saudita	2,390	2,614	9.4	Arabia Saudita	2,748	2,856	3.9
7	Alemania	2,517	2,422	-3.8	Brasil	2,629	2,653	0.9
8	Brasil	2,397	2,405	0.3	Corea del sur	2,392	2,397	0.2
9	Corea del sur	2,287	2,327	1.7	Alemania	2,445	2,362	-3.4
10	Canadá	2,287	2,195	-4.0	Canadá	2,298	2,293	-0.2
11	México	2,010	1,945	-3.2	México	2,014	2,027	0.7
12	Francia	1,902	1,833	-3.6	Irán	1,187	1,784	-3.3
13	Irán	1,761	1,741	-1.2	Francia	1,761	1,724	-2.1

Nota: * Variación en el consumo (%) 2008-2009

** Variación en el consumo (%) 2010-2011

Tomado de SENER. Prospectiva del petróleo crudo 2010-2025, 2011.

Tomado de SENER. Prospectiva del petróleo crudo 2012-2026, 2012.

En 2011 México obtuvo energía a partir de diversas fuentes, el petróleo ocupó el primer lugar con un 64.1 %, seguido del gas natural con un 22.9 %, la energía obtenida a partir de fuentes renovables ocupó el 6.9 %, en la Figura 5 se pueden apreciar estos porcentajes (Balance Nacional de energía, 2011).

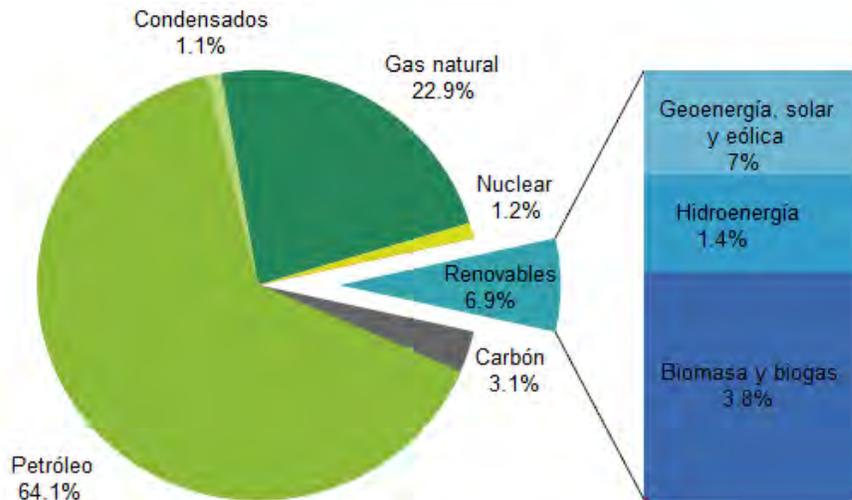


Figura 5: Obtención de energía a partir de diversas fuentes, México 2011

Como puede verse en la Figura 5, el uso de energía renovable en México ha sido deficiente, debido a ello se han establecido leyes para aumentar el uso de bioenergía. Actualmente se cuenta con dos leyes que permiten el desarrollo de bioenergéticos, la primera es la Ley de promoción y desarrollo de biocombustibles (LPDB) publicada en 2008. Esta ley se concentra en la promoción de etanol y biodiesel como sustitutos de la gasolina y el diesel, y tiene los siguientes objetivos:

- ✓ La producción de insumos para bioenergéticos a partir de actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano.
- ✓ Generación de empleo y una mejor calidad para la población.
- ✓ Reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y gases de efecto invernadero.

De la LPDB se desprenden dos programas:

1. Programa de producción sustentable de insumos para los bioenergéticos y desarrollo científico y tecnológico, publicado en 2009 a cargo de SAGARPA.

Este programa pretende fomentar la producción sustentable de insumos para bioenergéticos y su comercialización. Hace distinción al uso de sorgo y caña de azúcar para la producción de bioetanol, y al uso de *Jatropha*, higuera y palma de aceite para producir biodiesel, pero no se limita a ellas, de hecho establece líneas estratégicas, una de las cuales propone el apoyo al desarrollo de proyectos para atender la demanda de insumos de manera competitiva sustentable. Cabe mencionar que el uso de maíz está restringido para la obtención de bioetanol debido a su uso alimenticio.

2. Programa de Introducción de Bioenergéticos, publicado en 2009 a cargo de SENER.

Este programa tiene por objetivo brindar certidumbre para el desarrollo de la cadena de producción y consumo de biocombustibles en mezcla de combustibles para el transporte.

La segunda es la Ley para aprovechamiento de las energías renovables y financiamiento para la transición energética (LAERFTE), publicada en 2008. Esta tiene por objetivo:

- ✓ Regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovable y tecnologías limpias para generar electricidad con fines como la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética.

La aplicación de estas leyes ha ayudado a aumentar el interés de energías renovables, demostrando todos los beneficios que estas ofrecen, sin embargo aún falta mucho por hacer, como establecer programas de apoyo económico, y la investigación de otras fuentes que no compitan con la alimentación y sean sustentables.

2.4. Emisiones de gases de efecto invernadero

Se entiende por gases de efecto invernadero (GEI) a cualquier constituyente gaseoso de la atmósfera que tiene la capacidad de absorber y re-emitir la radiación infrarroja (INECC, 2010), estos pueden ser producidos naturalmente o por acción de las actividades socioeconómicas del hombre. Su importancia radica en la capacidad que tienen para absorber y retener calor en la baja atmósfera, produciendo así el llamado “efecto invernadero”, como tal, este proceso ayuda a la regulación de la temperatura y con ello a la supervivencia de los seres vivos en la tierra. A pesar de lo dicho anteriormente, la excesiva cantidad de gases generados a partir de la revolución industrial han ido en aumento, de modo tal que el hecho de un posible sobrecalentamiento se haya cada vez más cercano. Por otra parte, el calentamiento no es el único problema preocupante debido a la generación de GEI, a ello se suma la existencia de una mayor frecuencia e intensidad de olas de calor, aumento de las inundaciones y sequías, cambios en la distribución de las enfermedades transmitidas por vectores, sólo por citar algunos ejemplos. Aunado a lo anterior, el escenario de México es alarmante, ya que en 2009 se posicionó en el 13° lugar a nivel mundial por generar el 1.6 % del total de emisiones generadas en el mundo.

Los gases de efecto invernadero son causados por diversos sectores, sin embargo uno de los que más contribuye es el energético, tan sólo en 2010 éste aportó aproximadamente el 80 % de las emisiones generadas en el mundo (SENER, 2010). En México las emisiones totales de GEI del sector energético alcanzaron 498.51 Tg CO₂ eq (teragramos equivalentes de dióxido de carbono) durante 2011. Si bien este porcentaje es producto de diverso subsectores (generación de

electricidad, industria, etc.), como puede apreciarse en la Figura 6 (Balance Nacional de energía, 2011) el transporte contribuyó con la mayor parte de las emisiones de CO₂ con un aporte de 39.9 % del total. De forma gradual, de 2000 a 2011 las emisiones del sector transporte aumentaron, registrando una tasa de crecimiento anual de 3.8 % (Balance Nacional de energía, 2011).

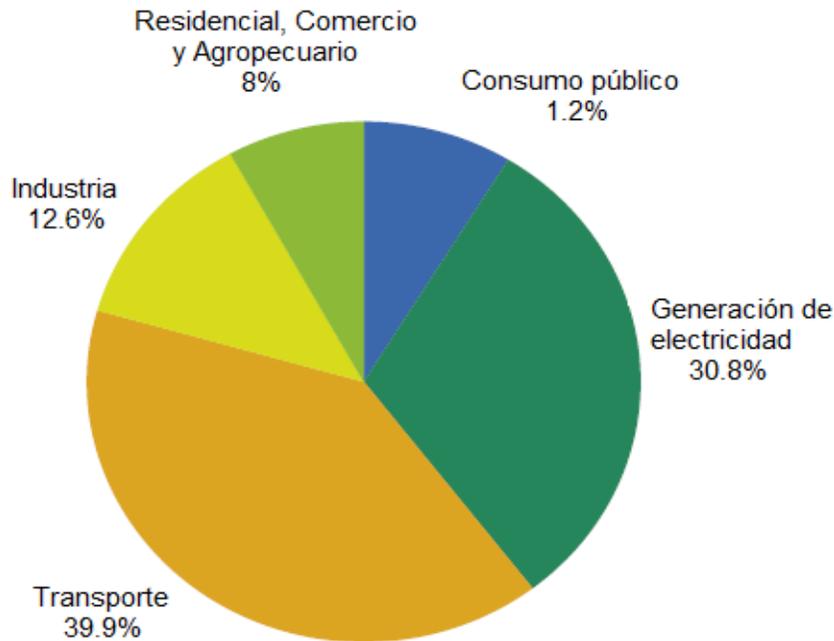


Figura 6: Estructura de las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de combustible por sector, 2011

Dentro del sector transporte las emisiones son producto del consumo de diversos combustibles de los cuales el petróleo crudo y los petrolíferos aportaron el 62 %, el gas natural y condensados representaron el 29.5 %, el carbón así como productos derivados el 8.2 % y la biomasa el 0.3 %, sin embargo es importante mencionar que para la biomasa no se consideran las emisiones de CO₂, ya que se asume que existe una renovación de igual magnitud que el consumo (Balance Nacional de energía, 2011). En la Figura 7 (Balance Nacional de energía, 2011) se muestran las cifras mencionadas anteriormente.

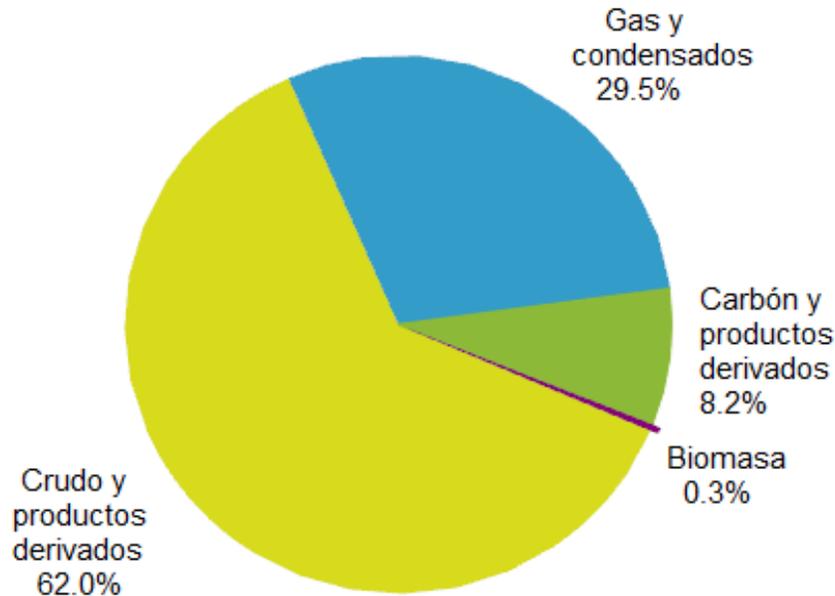


Figura 7. Estructura de las emisiones de GEI asociadas al consumo de combustibles por tipo energético, 2011

Debido al panorama tan drástico del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, en diciembre de 1997 se acordó el llamado Protocolo de Kioto (PK), mismo que contemplaba diversos procedimientos para regular las emisiones producidas por los países desarrollados y subdesarrollados, uno de ellos era la negociación global de permisos de emisiones de CO₂ (Camps, M., y Marcos, M., 2008), sin embargo, pese a la iniciativa, muchos de los países incluidos nunca ratificaron su participación, o decidieron abandonarlo, debido a las altas multas que este les podría generar. En el caso particular de México, el 3 de junio de 2013 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, diversas medidas para frenar los efectos producidos por el cambio climático, entre los cuales se citan:

- ✓ La ley General de cambio climático, misma que tiene por objetivo regular, fomentar y posibilitar la instrumentación de la política Nacional de cambio climático e incorporar acciones de adaptación y mitigación con un enfoque de largo plazo, sistemático, participativo e integral. A su vez la Ley General de cambio climático cuenta con la Estrategia Nacional de cambio climático, esta es el instrumento principal a mediano y largo plazo para enfrentar los efectos del cambio climático para tener una economía competitiva, sustentable y baja en emisiones de carbón. En ella se describe los ejes estratégicos y líneas de acción a seguir para así orientar las políticas tanto del gobierno como de la sociedad.

- ✓ El plan de desarrollo 2013-2028 incluye dentro de sus objetivos la estrategia sobre el fortalecimiento de la política nacional de cambio climático y cuidado al ambiente.

El hecho de contar con una base legislativa contribuye de manera significativa para reducir las emisiones de GEI, sin embargo es importante establecer alternativas físicas que sean implementadas y den resultados visibles. Países como España, Francia, y en América Latina, Brasil, han optado por el uso de biocombustibles, con ello pretenden disminuir la dependencia hacia los combustibles fósiles como la gasolina y el diesel, mismos que ayuden a reducir los problemas ambientales.

2.5. Biocombustibles

Los combustibles de origen biológico que no se han fosilizado son llamados biocombustibles (Camps, M., y Marcos, M., 2008). En la actualidad el uso de biocombustibles ha aumentado debido a las diversas ventajas que presenta, por ejemplo: no son contaminantes, son accesibles, seguros y son obtenidos de fuentes renovables. Por otra parte el uso de biocombustibles ha sido considerado como una nueva tecnología que está al alcance tanto de países en desarrollo, como de países avanzados, añadiendo además que los países en desarrollo presentan diversas ventajas, tales como la disponibilidad de suelo, las condiciones climáticas y los bajos costo laborales. Los biocombustibles pueden ser clasificados atendiendo a varios criterios; sin embargo se tomará en cuenta a la clasificación por su aspecto y por generaciones (de acuerdo al insumo o materia prima, así como la tecnología necesaria para producirlo).

En la Tabla 4 se muestra la clasificación por su aspecto físico:

Tabla 4
Clasificación de los biocombustibles de acuerdo a su aspecto físico

Aspecto físico	Ejemplo de biocombustible
Sólido	<ul style="list-style-type: none">○ Leña y astillas○ Carbón vegetal
Líquido	<ul style="list-style-type: none">○ Bioetanol y bioalcoholes○ Aceite vegetal
Gaseoso	<ul style="list-style-type: none">○ Biogás de origen muy diverso

Nota: Tomada de Camps, M., y Marcos, M., 2008.

Clasificación por generaciones:

- *Biocombustibles de primera generación*

Son aquellos procedentes de insumos agrícolas, cultivos alimentarios que tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. La tecnología utilizada es la fermentación para el caso de los azúcares y la transesterificación para los aceites y grasas. Su principal ventaja es la baja emisión de GEI.

- *Biocombustibles de segunda generación*

Son los procedentes de residuos agrícolas y forestales, los compuestos aprovechados son la lignina, celulosa y hemicelulosa. Los procesos llevados a cabo son la sacarificación y el Fischer-Tropsch. Su principal ventaja es que no hay desvío de alimentos (como en los de primera generación) para producir el biocombustible, sin embargo la disminución de emisión de GEI es casi nula.

- *Biocombustibles de tercera generación*

Se basan en cultivos energéticos. Los procesos aún están en fase de desarrollo. Tiene como ventajas la obtención de combustibles de primera generación sin el uso de alimentos, sin embargo requiere de campos donde se generen, lo que incluye quitar una parte a la cosecha de alimentos, la emisión de GEI se ve disminuida.

El uso de biocombustibles de primera generación ha sido considerada de mayor importancia y uso debido al periodo que se requiere para obtener al biocombustible, además de que los costos, aunque dependen de la materia a utilizar, suelen ser más baratos en comparación con los de otras generaciones. Por otra parte los biocombustibles líquidos para el transporte han llamado la atención de diversos países debido a su capacidad de renovación, disponibilidad y la reducción de emisiones de GEI. Dentro de los biocombustibles líquidos, el uso e investigación hacia el biodiesel ha cobrado importancia en los últimos años debido a la cantidad de beneficios que ofrecen al ser empleados en el transporte. Finalmente la industria de los biocombustibles representa una fuente importante de ingresos para los países en desarrollo, ya que la mayoría presentan la ventaja de tener disponibilidad de suelo, condiciones climáticas favorables para la agricultura y costos laborales más bajos, además ofrece la ventaja de reducir su dependencia de las importaciones de petróleo (Dermibas, F.M., Balat, M., Balat, H., 2011).

2.6. Biodiesel

El interés en el uso de combustible renovable comenzó con el uso de los aceites vegetales como sustituto para el gasóleo. Sin embargo, su uso directo en los motores de encendido por compresión se restringió debido a la alta viscosidad que dio lugar a una atomización deficiente de combustible, combustión incompleta y la deposición de carbono en el inyector y los asientos de válvula que causaron grave ensuciamiento en el motor (Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., 2005). El biodiesel es un combustible diesel alternativo derivado de los aceites vegetales, grasas animales y aceites de fritura, está conformado por dos cadenas de hidrocarburos, una corta y una larga. La cadena larga es la llamada cadena de ácidos grasos, mientras que la cadena corta varía de acuerdo al alcohol empleado en la reacción de transesterificación. Tanto los aceites que estructuralmente son triglicéridos como los ácidos grasos que pueden conformar a la cadena larga de estos aceites y del biodiesel, están constituidos de ácidos grasos de cadena larga como el palmítico, esteárico, oleico y linoleico. Algunos de los más comunes se recopilan en la Tabla 5.

Tabla 5
Ácidos grasos presentes en el Biodiesel

Ácido graso	Estructura	Tipo*	Formula
Caprílico	8:0	S	$C_8H_{16}O_2$
Cáprico	10:0	S	$C_{10}H_{20}O_2$
Laúrico	12:0	S	$C_{12}H_{24}O_2$
Mirístico	14:0	S	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmítico	16:0	S	$C_{16}H_{32}O_2$
Esteárico	18:0	S	$C_{18}H_{36}O_2$
Oleico	18:1	IS	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleico	18:2	IS	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolénico	18:3	IS	$C_{18}H_{30}O_2$
Araquídico	20:0	S	$C_{20}H_{40}O_2$

Nota: *S: Saturado IS: Insaturado

Elaboración propia con información tomada de Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Ceniceros, E., Natarajan, M., 2012

2.7. Obtención de biocombustibles: Reacción de transesterificación

El uso de aceites, como ya se mencionó, fue limitado por diversas razones, una de las más importantes fue su alta viscosidad, ya que ésta genera una atomización deficiente, requiere más energía para bombear el combustible, y además, causa problemas en climas fríos, ya que la viscosidad aumenta cuando la temperatura disminuye (Alptekin, E. y Canakci, M., 2008). Otras limitaciones fueron su baja volatilidad y el carácter poliinsaturado. Para superar estas limitaciones se desarrollaron diversos procesos para obtener biodiesel, mismos que permitieron disminuir los valores de viscosidad. En la Tabla 6 se enumeran algunos de las más importantes.

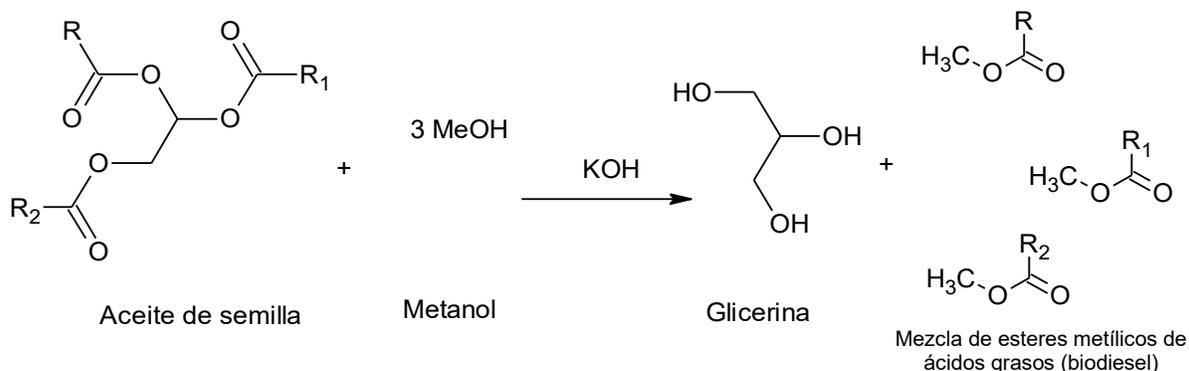
Tabla 6
Procesos de obtención de biocombustibles

Proceso	Resultados	Desventajas
Pirólisis	<ul style="list-style-type: none"> ○ Productos de baja viscosidad. ○ Alto número de Cetano. ○ Cantidades aceptadas de azufre, agua y sedimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alto contenido de cenizas y residuos de carbono.
Micro-emulsión	<ul style="list-style-type: none"> ○ Productos de baja viscosidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Adherencia a la aguja del inyector. ○ Combustión incompleta.
Transesterificación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Productos de baja viscosidad. 	

Nota: Tomado de Camps, M., y Marcos, M., 2008

La transesterificación es el método más sencillo para asemejar las características de los aceites a las del gasoil, obteniendo resultados lo bastante buenos como para que se pueda hacer la sustitución sin que el sistema sufra daño alguno (Camps, M., y Marcos, M., 2008). La reacción de transesterificación se lleva a cabo entre un triglicérido proveniente del aceite vegetal o de la grasa de animal, y un alcohol de bajo peso molecular, sea metanol o etanol, para producir en el primer paso la conversión del triglicérido a diglicérido, seguido de la conversión del diglicérido a

monoglicérido y finalmente de monoglicérido a glicerol; a la par se forma una molécula de éster metílico por cada glicérido, para al final de la reacción obtener tres moléculas de éster metílico, es decir biodiesel, y una molécula de glicerol (glicerina). La reacción se muestra en el Esquema 1.



Para que la reacción de transesterificación se lleve a cabo, es necesaria la presencia de un catalizador que asegure la conversión del aceite a biodiesel. Las reacciones de transesterificación más utilizadas son la catalizada por ácido y la catalizada por álcali. La elección del catalizador depende de la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite, en general, se utiliza la transesterificación básica cuando la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite no es mayor al 3 %, y la transesterificación ácida cuando se excede este porcentaje.

2.7.1. Transesterificación catalizada por ácido

La cantidad de ácidos grasos libres representa un factor crítico para llevar a cabo la reacción de transesterificación en medio básico, sin embargo, diversos aceites y grasas contienen una cantidad considerable de ácidos grasos libres que reaccionan con el catalizador formando productos saponificados durante la transesterificación catalizada por base y que requieren una purificación exhaustiva y costosa de los productos (Jan, C.J., Palmeri, N., Cavallaro, S., 2010). La saponificación no sólo consume el catalizador alcalino sino también provoca formación de emulsiones que crean dificultades en la recuperación del biodiesel. Debido a que gran cantidad de aceites presentan la desventaja de tener un alto contenido de ácidos grasos se ha implementado la transesterificación ácida, misma que ha permitido disminuir el índice de acidez de los aceites. En la Tabla 7 se muestra el tratamiento que han llevado diversas materias primas a través de la transesterificación ácida para disminuir su índice de acidez.

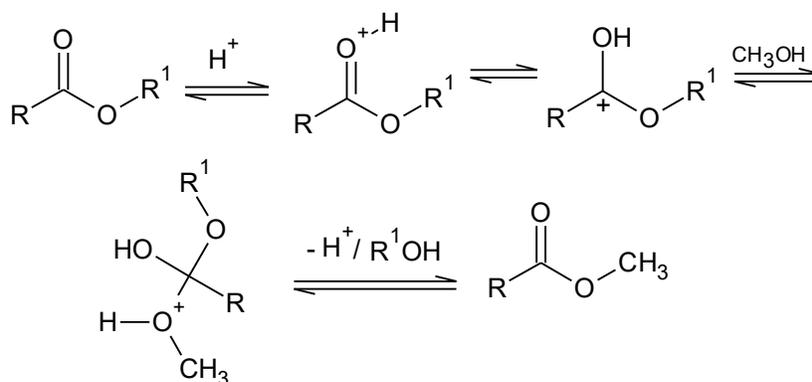
Tabla 7

Valores del contenido inicial y final de ácidos grasos libres de diversas materias primas al ser tratados con transesterificación ácida

Materia Prima	Ácidos grasos libres inicial (%)	Ácidos grasos libres final (%)	Cantidad y catalizador utilizado (%)
Aceite de goma	17.0	< 2.0	0.5 , H ₂ SO ₄
Aceite de karanka	2.53	0.95	0.5, H ₂ SO ₄
Aceite de tabaco	35.0	< 2.0	1.0, H ₂ SO ₄
Aceite de Jatropha	14.0	< 1.0	1.43, H ₂ SO ₄

Nota: Tomado de Sharma, Y.C., Singh, B., Upadhyay, S.N., 2008.

En el Esquema 2 se muestra de forma resumida el mecanismo por el cual se lleva a cabo la reacción de la transesterificación ácida:



Esquema 2: Transesterificación por catálisis ácida

A pesar de la ventaja que ofrece este proceso existen algunas desventajas que deben ser consideradas:

- Debido a que durante la reacción de transesterificación se forma como intermediario un carbocatión, se debe evitar la presencia de agua, ya que esta podría dar lugar a la formación de ácidos carboxílicos o reacciones competitivas no deseadas que disminuyan el rendimiento esperado.
- El tiempo de reacción es lento, se requiere de altas temperaturas y concentraciones de ácido sulfúrico como catalizador, lo que conlleva a un mayor costo para su producción.
- Las altas concentraciones de ácido sulfúrico podrían quemar el aceite sino se tuviera el cuidado necesario, lo que provocaría un bajo rendimiento de biodiesel.

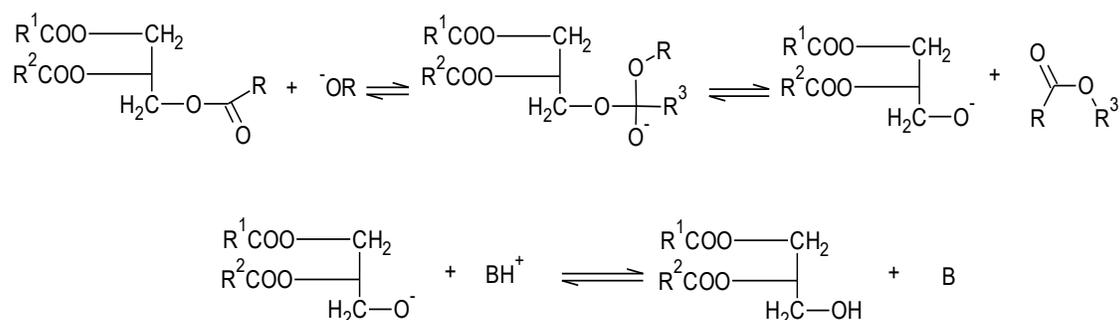
2.7.2. Transesterificación catalizada por base

La reacción de transesterificación básica se prefiere cuando la cantidad de ácidos grasos es menor al 3 %. La gama de catalizadores incluye al hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), metóxido de sodio (CH₃O Na) y óxido de calcio (CaO). La elección del catalizador depende



de muchos factores, sin embargo, el hidróxido de potasio es preferido debido a su bajo costo y a la facilidad con la cual puede separarse de los productos finales, lo que incluye un mejor rendimiento en la obtención del biodiesel. La transesterificación básica ofrece las ventajas de llevarse a cabo a temperaturas y presiones relativamente bajas, los tiempos de reacción son muy cortos, lo que concluye un menor coste para su producción, y además permiten obtener glicerina como subproducto. Como desventajas se puede mencionar que el alcohol utilizado debe ser anhidro, esto para evitar la presencia de agua, misma que pueda dar lugar a reacciones competitivas y con ello a un menor rendimiento.

El mecanismo de reacción de la transesterificación básica se presenta en el Esquema 3:



Esquema 3: Transesterificación catalizada por base

Existen controversias acerca del uso de biodiesel pues se considera que las ventajas que puede ofrecer no son lo suficientemente buenas como para utilizarlo, sin embargo existen muchas y buenas razones para investigarlo, desarrollarlo e implementarlo, algunas de las ventajas y desventajas del biodiesel se exponen en la Tabla 8.

Tabla 8
Ventajas y desventajas del Biodiesel

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor lubricidad que el diesel fósil, lo que indica mayor vida útil de los motores • Renovable • Presenta mayor seguridad de almacenaje y transporte, debido a que su punto de inflamación es más alto que el del diesel. • Polivalencia en su transformación en energía, sea para electricidad, calor, o en motor de combustión interna. • Protección al medio ambiente; debido a que la combustión del biodiesel no altera el equilibrio del CO₂, prácticamente no contiene azufre, por lo que no genera SO₂, además no contamina fuentes de agua superficial ni acuíferos subterráneos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las posibles modificaciones que se puedan requerir en el motor para el empleo del biocombustible. • Presentan problemas de fluidez y congelamiento a bajas temperaturas. • Los costos de la materia prima son elevados. • El contenido energético es menor en comparación con el de diesel petroquímico. • Suelen ser inestables a la oxidación.

Nota: Tomada de IICA, 2007.



Las características del biodiesel difieren dependiendo del aceite o grasa que se utilice, sin embargo la finalidad siempre es obtener propiedades físicas y químicas semejantes a las del diesel. En la actualidad se han implementado mezclas de biodiesel con diesel, las más comunes son la B2 (2 % de biodiesel/ 98 % de diesel fósil), la B5 (5 % biodiesel / 95 % diesel fósil), y la B20 (20 % de biodiesel / 80 % diesel fósil). El uso de estas mezclas no sólo significa disminuir el costo del biocombustible, ya que no se utiliza biodiesel al 100 %, sino que se mantiene el beneficio de disminuir las emisiones de GEI generadas por el diesel. En la Tabla 9 se muestra la variabilidad de emisiones generadas cuando se utilizan mezclas de biodiesel de soya, girasol y colza con diesel a diferentes proporciones.

Tabla 9

Reducciones o incrementos de emisiones en vehículos que operan con biodiesel de soya, girasol y colza, ya sea en forma pura o mezclado con diesel

Tipo de emisiones	B100	B20	B2
Hidrocarburos no quemados	-67 %	-20 %	-2.20 %
Monóxido de carbono	-48 %	-12 %	-1.30 %
Material particulado	-47 %	-12 %	-1.30 %
Óxidos de nitrógeno	+10 %	+2 %	+2 %

Nota: Tomada de IICA, 2007.

A pesar de la disminución del costo y de las emisiones de gases de efecto invernadero, las mezclas de biodiesel / diesel requieren cumplir parámetros exigidos por las normas de biodiesel y gasóleo. La viscosidad cinemática y la densidad son dos de los parámetros más importantes debido a que en un motor diesel el combustible líquido se pulveriza y atomiza en pequeñas gotas cerca a la salida de la boquilla. El combustible en general forma una pulverización en forma de cono y la viscosidad afecta a la calidad de la atomización y tamaño de gota del combustible. Por otro lado los sistemas de inyección de combustible diesel miden el combustible por volumen, de modo tal que los cambios en su densidad influirán en la potencia del motor debido a una masa diferente de combustible inyectado (Alptekin, E., y Canakci, M.,2008).

2.8. Normatividad para Biodiesel

El combustible impacta de manera directa en la vida y funcionamiento del motor, esto indica que para que el biodiesel pueda ser utilizado para este fin, es necesario garantizar que cumple con las características especificadas en las normas para uso de biodiesel como combustible.

Existen dos normas ampliamente reconocidas para el uso de biodiesel como combustible:

- Norma ASTM D6751 establecida por la American Society for Testing and Materials (USA)
- Norma EN 14214 establecida por la European Standards (Unión europea)

ASTM D6751 es un estándar internacional generalizado de biodiesel puro (B100), sin embargo, debido a que en la práctica el uso de mezclas diesel / biodiesel ha ganado terreno, la ASTM ha establecido la norma ASTM D7467 para los grados de mezcla de combustible de B6-B4. En las tres normas (ASTM D6751, D7467 y EN 14214) se especifican los requisitos y métodos de ensayo que el biodiesel debe cumplir para ser utilizado en motores de combustión interna. Algunos de los parámetros establecidos y su especificación se agrupan en la Tabla 10.

Tabla 10
Especificaciones para el uso de biodiesel

Propiedad	Para mezcla con biodiesel (B100)					
	EE.UU. (ASTM D6751)		Europa (EN 14214)		EE.UU. (ASTM D7467)	
	Límites	Método	Límites	Método	Límites	Método
Agua y sedimentos (vol.%, max)	0.05	D 2709	0.05	EN 12937 ^a	0.05	D 2709
Viscosidad cinemática a 40 ° C (mm ² / s)	1,9-6,0	D 445	3.5-5.0	ES 3104/3105	1.09 a 4.01	D 445
Punto de inflamación, cerrado (°C, min)	93	D 93	101	EN 3679	52	D 93
No. Cetano (Min)	47	D 613	51	EN 5165	40	D 613
Cenizas totales (% en peso, como máximo).					0.01	D 482
Azufre total (ppm, máx.)	15	D 5453	10	EN 20846	15	D 5453
Índice de acidez (mg de KOH / g, máx.)	0.50	D 664	0.50	EN 14104	0.3	D 664
Glicerina libre (% en peso, como máximo).	0.02	D 6584	0.02	EN 14105/14106		
Glicerina total (% en peso, máx.)	0.24	D 6584	0.25	EN 14105		
Monoglicérido (% en peso, máx.)			0.80	EN 14105		
Diglicérido (% en peso, como máximo)			0.20	EN 14105		
Triglicéridos (% en peso, como máximo)			0.20	EN 14105		
Estabilidad a la oxidación (h a 110 ° C, min)	3.0	EN 14112	6.0	EN 14112	6	EN 14112
Éster metílico de ácido linoléico (% en peso, como máximo)			12.0	EN 14103		
Esteres metílicos de ácidos poliinsaturado (% en peso, como máximo)			1.0	EN 15799		
Índice de yodo (g I ₂ / 100 g, máx.)			120	EN 14111		
Densidad (Kg / m ³)			860-900	EN 3675		

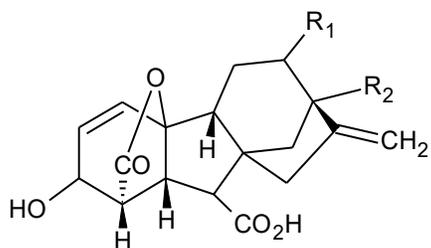
Nota: Tomado de Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., Natarajan, M., 2012

Hasta el momento México no cuenta con especificaciones ni normas para el uso de biocombustibles, si bien el 13 de Noviembre de 2009 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se emiten los lineamientos para el otorgamiento de permisos para la producción, almacenamiento y transporte de bioenergéticos del tipo bioetanol y biodiesel, en ningún apartado se hace mención a la normalización de especificaciones para el uso de biocombustibles.

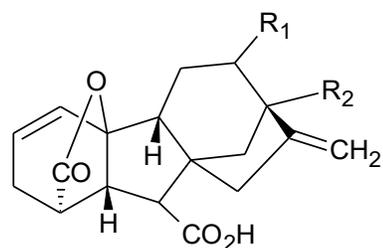
Para las pruebas de densidad relativa, viscosidad dinámica, viscosidad cinemática realizadas en el presente estudio se utilizó un viscosímetro de la empresa Anton Paar modelo SVM 3000 cuyo funcionamiento está basado en el llenado de un tubo con la muestra a analizar, en la cual flota un eje rotor de mediciones. Debido a su baja densidad, el rotor se centra en el líquido más pesado por las fuerzas de flotación. En consecuencia, un espacio de medición se forma entre el rotor y el tubo. El rotor se ve obligado a girar por tensiones generadas por fricción en el líquido y es guiado axialmente por un imán permanente incorporado, que interactúa con un anillo de hierro suave. El campo magnético giratorio proporciona la señal de velocidad e induce corrientes de Foucault (corrientes circulares) en el casquillo de cobre circundante. Estas corrientes de Foucault son proporcionales a la velocidad del rotor y ejercen una torsión retardada sobre el mismo. El equipo SVM 3000 utiliza elementos Peltier para termoestabilidad rápida y eficiente. La incertidumbre de la temperatura es de 0,02 K. La incertidumbre absoluta de la densidad es 0,0005 g · cm⁻³, y la incertidumbre relativa de la viscosidad dinámica obtenida es menos del 1,5 % para el líquido estándar SHL120 (SH calibración Service GmbH), en la gama de las temperaturas estudiadas.

2.9. Durazno (*Prunus persica*)

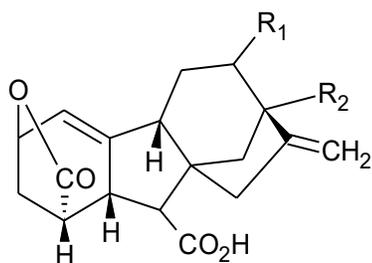
Los duraznos, melocotones y chabacanos pertenecen al género *Prunus*, proveniente de la familia de las Rosáceas. El árbol de durazno-melocotón tiene una altura de entre 4 a 6 m, con hojas de forma lanceolada, anchas de 8 a 15 cm de longitud. Existen casi treinta variedades que se han agrupado en cinco razas, cada una con distintas características, épocas de maduración y usos. Presenta floración desde principios de febrero hasta finales de marzo. Sus frutos, los melocotones, son normalmente de forma globosa de 5 a 7 cm de diámetro, según la variedad pueden tener epidermis vellosa o lisa, la carne dura o blanda, de color amarillo, blanco o rojizo. Debido a su amplia diversidad es una especie que se encuentra adaptada a muy diversos ambientes climáticos salvo los muy tropicales o los climas muy fríos, sufren a temperaturas inferiores a los 15 °C. Necesitan mucha luz solar para conferir calidad al fruto. Si están floreciendo y la temperatura es menor a 3 °C, sufren graves daños. Los árboles se reproducen principalmente por injerto, aunque también es posible sembrar la semilla. En cuanto a su producción, a nivel internacional en 2012 China, Italia y Estados Unidos de América ocuparon los primeros lugares con una producción de 12 millones de toneladas (M ton), 1, 331,621 M ton y 1, 058, 830 M ton respectivamente. México ocupó la diecisieteava posición con una producción de 162, 866 M ton (FAOSTAT, 2012). La producción de duraznos en México abarca desde el Norte hasta el Sur de la República, siendo Michoacán el estado con mayor producción (31,051.25 Ton), seguido el Estado de México con una producción de 28,800.25 Ton (toneladas) anuales y el estado de Chihuahua con una producción de 19, 316.70 Ton (SAGARPA, 2013). En los últimos años los temas de investigación acerca del durazno se han visto incrementados debido a las diversas características terapéuticas que se le han adjudicado debido a la alta concentración de ácido linoleico y oleico (Mezzomo, N., Mileo, B., Martínez, J., Ferreira, S., 2010). En 2001, se realizó un estudio sobre la presencia de Giberelinas (hormonas reguladoras de la germinación y crecimiento de plantas) en *Prunus persica*, donde se identificaron 11 giberelinas conocidas y otras de las que no se tenían registros, algunas de ellas se representan en el Esquema 4 (Nakayama, M., Koshioka, M., Matsui, H., Ohara, H., Mander, L.N., Leitch, S.K.,...y Yokota, T., 2001). Por su parte, el estudio de las hojas ha incluido propiedades antibacterianas, hematoprotector, antiasmático y anticoagulante.



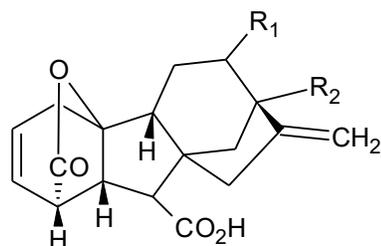
- 1) $R_1=H$ $R_2=OH$ (GA3)
- 2) $R_1=H$ $R_2=H$ (GA7)
- 3) $R_1=\alpha OH$ $R_2=H$ (GA30)
- 4) $R_1=OH$ $R_2=OH$ (GA87)



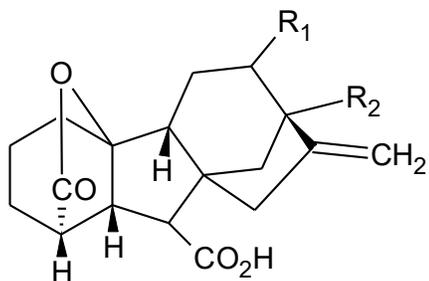
- 5) $R_1=H$ $R_2=OH$ (GA95)
- 6) $R_1=H$ $R_2=H$ (GA120)
- 7) $R_1=\alpha OH$ $R_2=H$ (GA121)
- 8) $R_1=\beta OH$ $R_2=H$ (GA122)
- 9) $R_1=\alpha OH$ $R_2=OH$ (GA126)



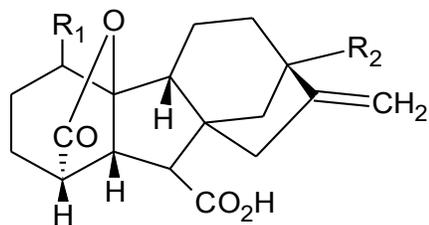
- 15) $R_1=H$ $R_2=OH$ (GA95-isolactona)
- 16) $R_1=H$ $R_2=H$ (GA120-isolactona)
- 17) $R_1=\alpha OH$ $R_2=H$ (GA121-isolactona)
- 18) $R_1=\beta OH$ $R_2=H$ (GA122-isolactona)



- 10) $R_1=H$ $R_2=OH$ (GA5 ó 2,3-didehidro GA20)
- 11) $R_1=H$ $R_2=H$ (2,3-didehidro GA9)
- 12) $R_1=\alpha OH$ $R_2=H$ (GA31 ó 2,3-didehidro GA70)
- 13) $R_1=\beta OH$ $R_2=H$ (2,3-didehidro GA69)
- 14) $R_1=\alpha OH$ $R_2=OH$ (2,3-didehidro GA77)



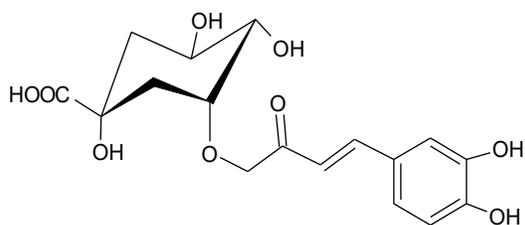
- 23) $R_1=H$ $R_2=OH$ (GA20)
- 24) $R_1=H$ $R_2=H$ (GA9)
- 25) $R_1=\alpha OH$ $R_2=H$ (GA70)
- 26) $R_1=\beta OH$ $R_2=H$ (GA59)
- 27) $R_1=\alpha OH$ $R_2=OH$ (GA77)



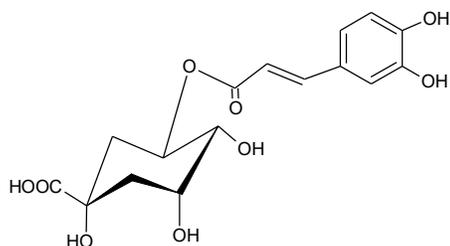
- 19) $R_1=\alpha OH$ $R_2=OH$ (GA118)
- 20) $R_1=\alpha OH$ $R_2=H$ (GA119)
- 21) $R_1=\beta OH$ $R_2=OH$ (GA60)
- 22) $R_1=\beta OH$ $R_2=H$ (GA51)

Esquema 4: Giberelinas no conocidas encontradas en *Prunus persica*

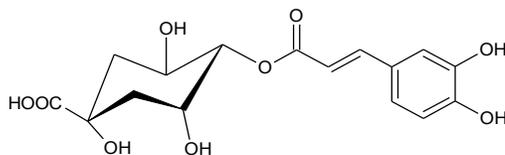
Otra característica es el estudio de antioxidantes, de los cuales se ha hecho la identificación del isómero del ácido (Esquema 5) (Nakatani, N., Kayano, S., Katagari, K., Mitani, T., 2000) mismo que ha sido reconocido por su actividad terapéutica como hipotensor, tratamientos para cáncer, obesidad y trastornos de ansiedad (Gil, A., Ruíz, M.D., 2010).



Ácido 3-O-cafeoilquinico



Ácido 5-O-cafeoilquinico



Ácido 4-O-cafeoilquinico

Esquema 5: Estructuras de los isómeros del ácido clorogénico.

En cuanto al aceite obtenido de *Prunus persica* se han evaluado algunas de sus características, tales como viscosidad, densidad, índice de yodo, etc. (Tablas 11 y 12). De acuerdo a las propiedades retomadas de la literatura y de las investigaciones realizadas, el aceite de semilla de durazno podría ser usado como materia prima para la obtención de biodiesel aplicado a motores de combustión interna, siempre y cuando sus características lo permitan, es decir, cumplan con las especificaciones de las normas internacionales de uso de biodiesel, con lo cual se podría obtener un combustible amigable con el medio ambiente.

Tabla 11
*Características fisicoquímicas del durazno (*Prunus persica*)*

Humedad (H ±0.007 %)	Cenizas (C ±0.0080 %)	Grasa cruda (G ±0.01 %)	Fibra cruda (F ±0.03 %)	Proteínas (P ±0.1 %)	Carbohidratos (Car ±0.01 %)
5,682	2,779	43,56	24,52	27,2	20,82

Nota: Tomado de Mieres-Pitre, A., Santangelo, G., y González, C., 2005

Tabla 12
Análisis del Aceite de durazno

Análisis	Aceite crudo	Aceite refinado
Densidad relativa a 20°C / 20°C (DR± 0,00004)	0,90244	0,90430
Índice de refracción (IR± 0,0001)	40°C : 1,4675 60°C : 1,4660	40°C: 1,4670 60°C: 1,4655
Índice de saponificación (IS± 0,07) mg KOH/g	188,29	113,26
Índice de yodo (Wijs) (IY± 0,5)Cg I ₂ /g	94,2	95,0

Nota: Tomado de Mieres-Pitre, A., Santangelo, G., y González, C., 2005

2.10. Antioxidantes

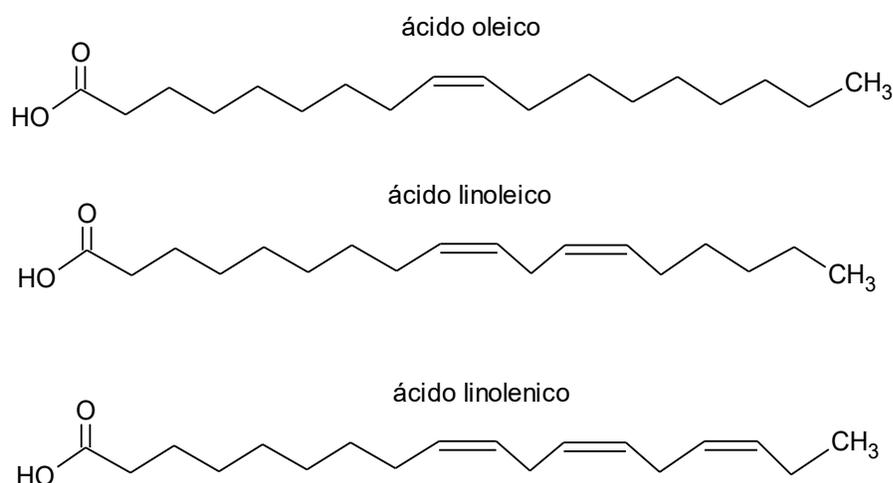
Las reacciones de oxidación involucran la pérdida de electrones de una especie química, propiciando en algunos casos, reacciones en cadena que involucran la formación de radicales libres. La naturaleza química del biodiesel, cuya composición consiste en una mezcla de esteres metílicos de ácidos grasos saturados e insaturados, genera este tipo de reacciones, por lo tanto la estabilidad a la oxidación representa una de las cualidades más importantes que el biodiesel debe presentar. La estabilidad a la oxidación es un parámetro que describe la tendencia a la degradación del biodiesel, los principales productos de oxidación son peróxidos e hidroperóxidos, que al transcurrir el tiempo forman compuestos de cadena más corta tales como ácidos orgánicos de bajo peso molecular, aldehídos, cetonas y alcoholes. Algunos problemas causados por los productos de oxidación del biodiesel son:

- Disminución del punto de inflamación: Este es causado por la presencia de alcoholes en el biodiesel. La importancia de mantener un punto de inflamación alto deriva en la seguridad que el biodiesel presenta al ser transportado y almacenado.
- Formación de depósitos y corrosión: En algunos casos, la oxidación del biodiesel produce la formación de ácidos y aldehídos que generan un aumento en la acidez del biodiesel y formación de depósitos, mismos que conducen a un mayor desgaste en las bombas y los inyectores del motor.

La sensibilidad a la oxidación varía dependiendo de la materia prima y la presencia de antioxidantes de origen natural (Karavalakis, G., Stournas, S., Karonis, D., 2011). Entre los factores que aceleran la oxidación en el biodiesel se tienen:

- Altas temperaturas, las cuales se presentan en los sistemas de inyección del motor y la recirculación del combustible a través del sistema de inyección, estos procesos aumentan el riesgo de oxidación del biodiesel.
- Condiciones de almacenamiento: Para garantizar la estabilidad del biodiesel a largo plazo, éste debe ser almacenado en la oscuridad y en condiciones de baja humedad y temperatura.
- Estructura química de la cadena de ácido graso: La inestabilidad térmica también es resultado de la insaturación de la cadena de ácidos grasos, es decir de la cantidad de dobles enlaces y de su posición dentro de la cadena insaturada (Yaakob, Z. y Narayanan, B., 2014) de modo tal que la inestabilidad se agrava a medida que aumenta el número de dobles enlaces en la cadena. Muchos aceites derivados de plantas contienen sitios alílicos o bis-alílicos. Un sitio alílico es un metileno (CH_2) adyacente a un doble enlace. Un metileno (CH_2) situado entre dos dobles enlaces es un sitio bis-alílico, ejemplos claros de ácidos grasos que presentan una

cadena insaturada con sitio alílico o bis alílicos son el ácido Linolénico que tiene tres dobles enlaces (carbono 9,12 y 15), el ácido Linoleico con dos dobles enlaces (carbono 9 y 12) y el ácido Oleico con un doble enlace en el carbono 9. En el Esquema 6 se pueden apreciar las estructuras de ácidos grasos con sitios alílicos o bis-alílicos y la posición en la que se encuentran los dobles enlaces. Tomando en cuenta las bases anteriores, el biodiesel con alto contenido de esteres metílicos de ácidos grasos, como los mencionados anteriormente (linoleico y el linolénico), tienden a ser más propensos a la oxidación (Karavalakis, G. et al., 2011). Para evitarla, muchos de los alimentos y compuestos contienen de forma natural antioxidantes, los cuales son sustancias capaces de retardar la oxidación; es importante hacer mención que ellos no impiden tal reacción, una vez que el antioxidante se agota, la oxidación se hace presente.



Esquema 6: Ácidos grasos con sitios alílicos o bis-alílicos

Por su parte los principales antioxidantes presentes en los aceites son los tocoferoles, esteroides y tocotrienoles (Gil, A., 2010). Los tocoferoles se producen en diferentes cantidades en los aceites vegetales, en algunas ocasiones los tocoferoles presentes en el aceite vegetal también pueden estar presentes en el biodiesel, por ejemplo, el biodiesel obtenido a partir del aceite de colza tiende a ser muy estable en términos de oxidación debido al alto contenido de tocoferoles en el aceite puro, por otra parte se ha informado que el aceite de soja contiene entre 500-3000 ppm de tocoferoles, junto con antioxidantes tales como esteroides y tocotrienoles, cantidades que no son afectados por el proceso de preparación de los esteres metílicos de los ácidos grasos, es decir biodiesel (Pullen, J. y Saeed, k., 2012). Existen diversos métodos por medio de los cuales se puede determinar el porcentaje o cantidad presente de éste tipo de antioxidantes en determinada muestra, ejemplo de ello son la determinación de fenoles totales mediante el ensayo de Folan-Ciocalteu o la determinación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH, entre otros.

Debido a la falta de estabilidad de algunos biocombustibles frente a la oxidación, algunas empresas han optado por la adición de antioxidantes. Se ha reportado que el uso de BHA y BHT tienen una eficacia baja al ser adicionados al B100, sin embargo al ser adicionados a mezclas de diesel/biodiesel, aumentan considerablemente su estabilidad (Karavalakis, G., 2011). Otros dos antioxidantes que han mostrado mayor potencial estabilizador son el Galato de propilo y el Pirogalol, en la Tabla 13 se muestran sus estructuras.

Tabla 13
Antioxidantes utilizados en el biodiesel

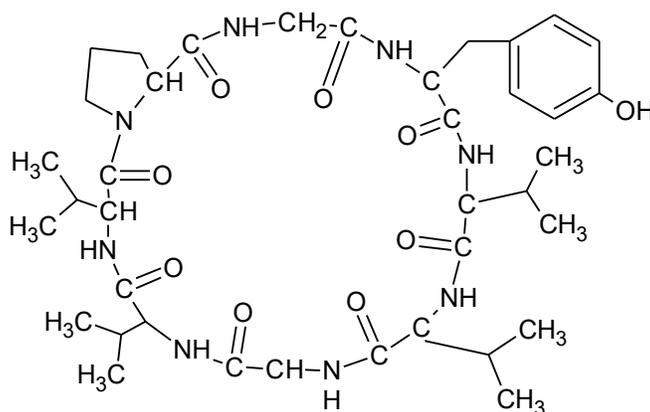
Nombre del antioxidante	Estructura
Butilhidroxianisol (BHA)	
Butilhidroxitolueno (BHT)	
Galato de propilo (PG)	
Pirogalol	

Nota: Elaboración propia

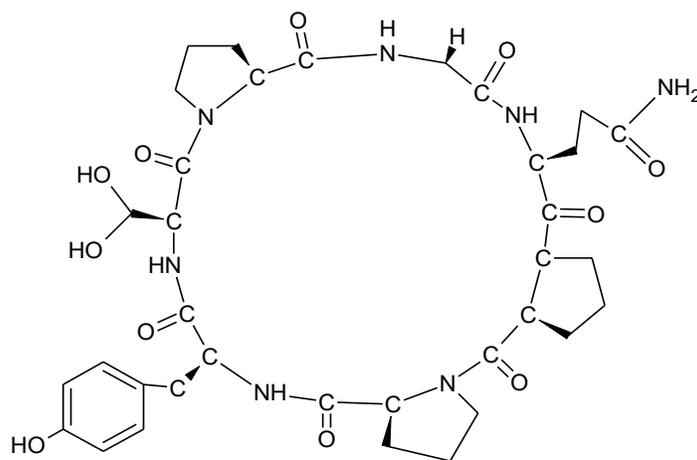
2.11. Ciclopéptidos

Los aminoácidos son ácidos orgánicos (R-COOH) portadores de un grupo amino (-NH₂) y un grupo sustituyente variable, la unión de varios aminoácidos da origen a los péptidos, que se enlazan entre sí por enlaces amida, carbamino o enlace peptídicos (-CONH₂). Un péptido suele contener menos de 20-30 residuos de aminoácidos (Harvey, L. et al. ,2006), mientras que una proteína puede contener hasta 4,000 residuos. En la actualidad su estudio ha aumentado considerablemente,

sobre todo el de familias de péptidos cíclicos, debido a su actividad inmunosupresora (ciclosporina), antibiótica (gramicidinas) o tóxica (microcistinas), además de poseer una alta estabilidad química y resistencia a las degradaciones enzimáticas. En los últimos años se han aislado ciclopéptidos de esponjas marinas, plantas, bacterias e incluso de semillas. En 1999, se describió el aislamiento de dos nuevos ciclopéptidos de la semilla de *Annona glabra* (Esquema 7) (Chao -Li Ming, 1999), así como en semillas de *Annona reticulata* (Esquema 8) (Alassane Wele, 2009). A pesar de que no se han descrito ciclopéptidos en la semilla del durazno (*Prunus persica*) la posibilidad de encontrar este tipo de moléculas no es del todo imposible.



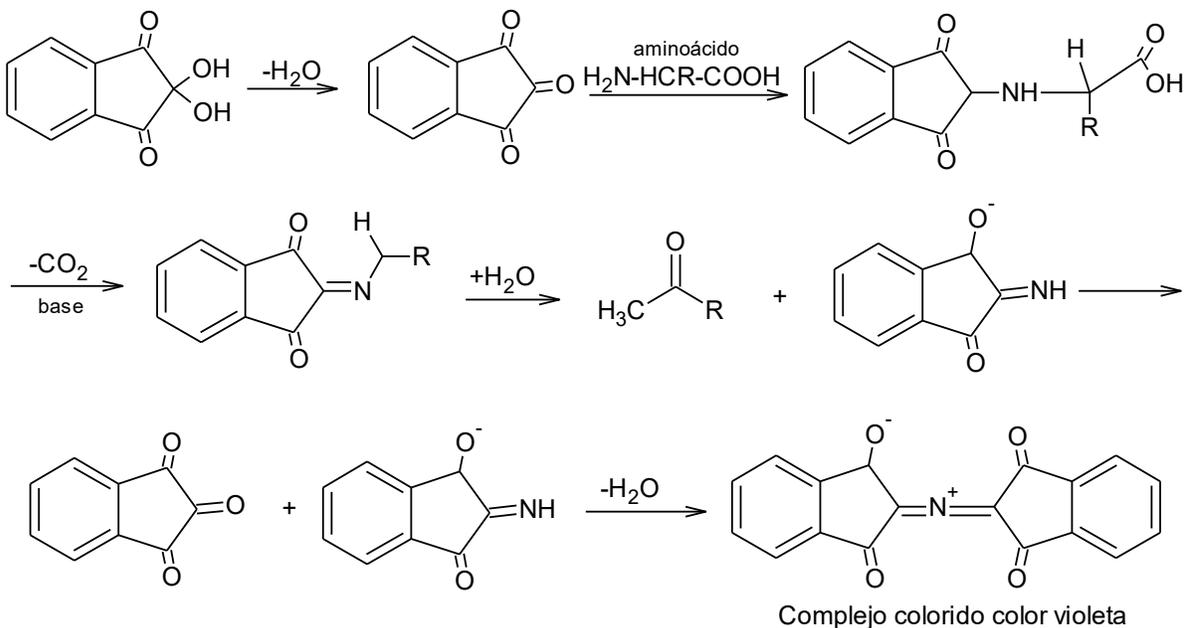
Esquema 7: Ciclopéptido de la semilla de *Annona glabra*.



Esquema 8: Ciclopéptido de la semilla de *Annona reticulata*.

La detección de péptidos y ciclopéptidos en plantas utilizando cromatografía de capa delgada y agentes como el reactivo de Dregendorff, Cloro- σ tolidina y Ninhidrina han permitido no sólo distinguir la presencia de estos componentes, sino también han sido una guía para la separación y purificación de ciclopéptidos (Ning-Hua, T. y Zhou, J., 2006).

La Ninhidrina es un hidrato de tricetona cíclica, con alto poder oxidante, capaz de reaccionar con los aminoácidos en medio ácido y calor, produciendo amoníaco, dióxido de carbono y un complejo color púrpura azulado. En el Esquema 9 se presenta la reacción de la Ninhidrina con un aminoácido:



Esquema 9. Reacción de Ninhidrina con aminoácidos

En la reacción de identificación de aminoácidos, el átomo de Nitrógeno localizado en el complejo colorido formado proviene del aminoácido. El resto del aminoácido se convierte en un aldehído y gas carbónico, y la intensidad de su color es proporcional a la cantidad de aminoácidos presentes. Por otra parte la detección de ciclopéptidos con cloro y σ -tolidina es posible debido a la N-cloración que se da entre el cloro y el grupo amida. La σ -tolidina al reaccionar con el cloro (unido a la amida) produce un complejo colorido color púrpura, indicando cualitativamente la existencia de ciclopéptidos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México había ocupado, hasta el 2007 diversas posiciones que lo catalogaban como uno de los mejores productores y dueño de reservas de petróleo en el mundo, sin embargo después de éste año, la caída de ambos sectores ha sido irreparable. Desde 2011, México ocupa el 18° lugar en cuanto a reservas de petróleo, mientras que en producción ocupa el 8° lugar. A pesar de los recientes descubrimientos de pozos petroleros, como el de Trion 1, hallado en Agosto de 2012, México no cuenta con tecnología suficiente que permita desarrollar instalaciones en aguas profundas, y tampoco con suficientes recursos económicos que permitan solventar todos los gastos implicados en la exploración de dichos pozos. Aunado a lo anterior, el precio del petróleo como fuente principal de combustible ha seguido una línea ascendente y descendente desde 2009 debido a una combinación de mayor demanda, mayor escasez y mayor costo de extracción. Por otro lado, en México y el mundo la quema de combustible fósil para la producción energética aumenta cada año considerablemente, generando residuos de materia carbonosa, lo que resulta en efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, provocando el llamado efecto invernadero, mismo que es causante de los cambios atmosféricos y el deshielo de los polos.

La utilización de energía renovable, a partir de biomasa para generar biocombustibles (biodiesel y bioetanol) representa una alternativa para la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, como de la dependencia hacia el combustible fósil, sin embargo, el uso constante de fuentes alimenticias, como el maíz, en el caso del bioetanol, y de la soja en los biocombustibles ha disminuido el uso de los mismo, teniendo en cuenta que no puede anteponerse la situación energética ante la alimenticia. Debido a que el costo del biodiesel depende en gran medida de la materia prima utilizada, esta debe de ser lo más útil posible, es decir que no sólo contribuya a obtener biodiesel, sino que proporcione otros beneficios, de manera que su uso sea rentable, el claro ejemplo de ello es la semilla de *Jatropha*, de la que se ha obtenido no sólo biocombustible, sino aislamiento de ciclopéptidos que podrían contribuir a la síntesis de nuevos medicamentos. Por todo lo anterior es indispensable investigar el uso de nuevas alternativas de biocombustibles generados a partir de biomasa reutilizable, como es el caso de los desechos orgánicos, que además de solucionar los problemas antes mencionados, no dañen a la población, beneficien constantemente al medio ambiente, cumplan con las características enmarcadas en las normas internacionales para uso de biodiesel y proporcionen otros beneficios aplicables a la mejora de la sociedad.

4. OBJETIVOS

4.1. General

- Determinar el potencial del aceite obtenido a partir de desechos de semilla de durazno (*Prunus persica*) como materia prima para la obtención de biodiesel, mediante la caracterización fisicoquímica de aceite y del biodiesel, con la finalidad de contribuir a la obtención de energía limpia y renovable.

4.2. Particulares

- Obtener aceite de la almendra de los duraznos mediante la técnica de maceración con hexano, para la obtención de biodiesel.
- Obtener aceite de la almendra de los duraznos mediante la técnica de extracción por Soxhlet, para la obtención de biodiesel.
- Determinar el perfil de ácidos grasos de los esteres metílicos obtenidos del aceite de durazno, mediante cromatografía de gases para establecer su viabilidad como biodiesel.
- Evaluar las propiedades reológicas del biodiesel obtenido a partir del aceite de durazno en mezclas con diesel para determinar su viabilidad como combustible.
- Determinar la capacidad antioxidante en el bagazo de la semilla del durazno aplicando los ensayos de Folan Ciocalteu y del radical libre estable DPPH, para evaluar su uso como una fuente potencial de antioxidantes.
- Analizar los extractos polares y no polares del bagazo de la semilla del durazno por cromatografía de capa fina para detectar la presencia de péptidos y/o ciclopéptidos.

5. HIPÓTESIS

El aceite de semillas de desechos de durazno (*Prunus persica*), utilizado como materia prima, representará una opción rentable y conveniente para la obtención de biodiesel, cuyas propiedades físicas y químicas cumplirán con los requerimientos mínimos establecidos en las normas internacionales ASTM y EN 14214-03, para generar energía renovable y limpia que contribuyan al beneficio de la sociedad y el medio ambiente.

6. MATERIAL Y MÉTODO

6.1. Equipo

- Evaporador rotatorio (Rotavapor) BÜCHI modelo R-210
- Viscosímetro SM 300 de la empresa Anton Paar
- Calorímetro 6400 de la empresa Parr
- Lector de microplacas Biotek Synergy 2
- Licuadora marca Oster
- Parrilla de calentamiento y agitación marca VELP Scientifica AREC
- Cromatógrafo de gases marca Agilent 6890

6.2. Instrumentos

- Balanza analítica marca OHAUS
- Potenciómetro marca Conductronic modelo pH120
- Micropipetas
- Vernier marca Mitutoyo

6.3. Materiales

- Microplacas
- Frascos de vidrio.

6.4. Reactivos

- Acetato de Etilo
- Acetona
- Acido clorhídrico
- Ácido cítrico
- Ácido gálico
- Ácido sulfúrico
- Agua destilada
- Almidón soluble
- Ácido Aspártico
- Bicarbonato de sodio
- Biftalato de potasio
- Carbón activado
- Cloruro de metileno
- Cloroformo
- Cisteína
- Dicromato de Potasio
- DPPH
- Etanol
- Etilenglicol
- Fenoltaleína
- Glicina
- Hexano
- Hidróxido de Sodio
- Metanol
- Metionina
- Nitrógeno (gas)
- Oxígeno (gas)
- σ -tolidina
- Reactivo de Folín-Ciocalteu
- Reactivo de Wijs
- Sulfato de Sodio anhidro
- Tiosulfato de Sodio
- TLC sílica gel
- Trolox
- Yoduro mercúrico rojo
- Yoduro de Potasio

6.5. Metodología

6.5.1. Obtención de la semilla de durazno:

Los desechos de semilla de durazno fueron recolectados en la Central de Abastos del Distrito Federal, ubicada en la delegación Iztapalapa. Las semillas se recolectaron en dos periodos: noviembre-diciembre (Caracterización del aceite) y en los meses de junio-julio (caracterización del biodiesel).

Los duraznos fueron despulpados para obtener el hueso. Una vez realizado lo anterior los huesos fueron lavados con agua corriente y expuesto al sol por tres días, hasta sequedad. Posteriormente las semillas fueron quebradas con un martillo para extraer a las almendras, mismas que fueron almacenadas en un tarro de vidrio con tapa de rosca, para su protección.



Imagen 1: Recolección de los duraznos



Imagen 2: Secado de los huesos del durazno

6.5.2. Caracterización de las semillas:

A un lote de 30 semillas de durazno sin defectos físicos, previamente lavados y seleccionados al azar se le determinaron sus características físicas (largo, ancho, grosor y peso). Posteriormente se rompieron con ayuda de un martillo para obtener a las almendras, a las cuales se les efectuaron las mismas determinaciones (largo, ancho, grosor y peso), siempre y cuando no presentara defectos físicos. Las dimensiones fueron determinadas empleando un Vernier marca Mitutoyo, mientras que el peso se determinó en una balanza analítica marca Ohaus.

6.5.3. Molienda de almendras:

Las almendras obtenidas fueron molidas en una licuadora para la reducción de su tamaño y de este modo aumentar el rendimiento de aceite obtenido. La almendra molida fue almacenada en un frasco de vidrio con tapa de rosca.

6.5.4. Extracción del aceite de la almendra:

La extracción del aceite se realizó por dos métodos: Extracción por Soxhlet y Extracción por maceración con hexano.

6.5.4.1. Extracción por Soxhlet: Se colocaron 50 g de almendra de durazno previamente molida en un equipo Soxhlet y se extrajeron por reflujo con 300 mL de hexano durante 18 horas. Trascurrido el tiempo, el hexano se filtró y evaporó al vacío en un rotavapor marca Büchi modelo R-210.

6.5.4.2. Extracción por maceración: La almendra de durazno previamente molida (40.0 g) fue macerada con hexano (800 mL) durante una semana con agitación diaria. Trascurrido el tiempo se decantó el disolvente y se concentró en un rotavapor para la obtención del aceite. Por su parte el remanente del bagazo de durazno fue reutilizado tres veces más, repitiendo el proceso anterior, para la obtención de aceite.

6.5.5. Tratamiento para la disminución de acidez

6.5.5.1. Aceite obtenido por Soxhlet: Se transfirieron 15 mL de aceite obtenidos por Soxhlet a un matraz bola, se adicionaron 22.5 mL de metanol y 1.5 mL de ácido sulfúrico, la mezcla se mantuvo a reflujo con agitación constante y vigorosa por 3 horas. El curso de la reacción fue moitoreada por cromatografía de capa delgada (CCD) utilizando una mezcla de hexano: acetato de etilo: ácido acético (9:1:1, v/v/v). A continuación se realizaron lavados con agua en una relación 1:1, hasta alcanzar un pH de 6-7. Se adicionó cloruro de Metileno y Sulfato de Sodio para eliminar los residuos de agua y se dejó reposar por 24 horas. Posteriormente se evaporó el disolvente en un rotavapor marca Büchi modelo R-210, primero a 40° C sin aplicar vacío y después a la misma temperatura pero con vacío. Finalmente se midió el aceite obtenido.

6.5.5.2. Aceite obtenido por maceración: Se transfirieron 17.5 mL de aceite obtenidos por maceración a un matraz bola, se adicionaron 26.05 mL de metanol y 1.75 mL de ácido sulfúrico, la mezcla se mantuvo a reflujo con agitación constante y vigorosa por 3 horas y media. El curso de la reacción fue monitoreada por cromatografía en capa delgada (CCD) utilizando una mezcla de Hexano: Acetato de Etilo: Ácido Acético (9:1:1, v/v/v). A continuación se realizaron lavados con agua, en una relación 1:1 hasta alcanzar un pH de 6-7. Se adicionó Cloruro de Metileno y Sulfato de Sodio para eliminar los residuos de agua y se dejó reposar por 24 horas. Posteriormente se evaporó el disolvente en un rotavapor marca Büchi modelo R-210, primero a 40° C sin aplicar vacío y después a la misma temperatura pero con vacío. Finalmente se midió el aceite obtenido.

6.5.6. Rendimiento de las extracciones:

Se realizó una comparación de los rendimientos obtenidos por el método soxhlet y por maceración, para lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ de rendimiento aceite} = \frac{\text{Peso de aceite (g)}}{\text{Peso de semilla molida (g)}} * 100$$

$$\% \text{ de rendimiento aceite} = \frac{\text{Volumen de biodiesel (mL)}}{\text{Volumen de aceite (mL)}} * 100$$

6.5.7. Obtención de Biodiesel por reacción de transesterificación:

Se preparó una disolución de 0.0912 g KOH en 7 mL de metanol anhidro, se calentó con agitación vigorosa hasta la disolución de la potasa y se añadió a un matraz bola que contenía 12.8 mL de aceite de durazno (obtenido por Soxhlet y previamente tratado para disminuir su acidez). Se colocó a reflujo con agitación constante durante dos horas. El desarrollo de la reacción fue seguido por cromatografía en capa delgada (CCD) usando una mezcla de hexano: ácido acético: acetato de etilo (9:1:1 v/v/v) como eluyente, revelando con una cámara de vapores de yodo. Una vez terminada la reacción de transesterificación, la mezcla se enfrió y fue transferida a un embudo de separación, dejándola reposar durante 24 horas. La fase inferior fue separada por gravedad (esta fase es la glicerina), mientras que la superior que era la de biodiesel fue lavada con una disolución de ácido cítrico al 0.1 %, en una proporción de 1:1 hasta alcanzar un pH de 3-4. A continuación se lavó con agua caliente a 60°C en una proporción 1:1 hasta alcanzar un pH de 6. Posteriormente se añadió cloruro de metileno y sulfato de sodio para eliminar el exceso de agua, dejando reposar por 24 horas. Finalmente se decantó (para separar el sulfato de sodio) y concentró en un rotapavor para obtener así el biodiesel.

6.5.8. Pruebas de calidad para el aceite y biodiesel

6.5.8.1. Densidad relativa, Viscosidad dinámica, Viscosidad cinemática: Para la determinación de estos parámetros se utilizó un viscosímetro de la empresa Anton Paar modelo SVM 3000 mismo que cumple con las norma de calidad ISO 9000 asegurando la veracidad de los resultados arrojados por el equipo.

6.5.8.2. Índice de acidez. En un matraz erlenmeyer se pesó exactamente 1 g de aceite o biodiesel de durazno, se añadieron 2 mL de etanol y dos gotas de fenolftaleína como indicador. La mezcla se mantuvo con agitación vigorosa a 60 °C hasta observar la emulsificación de la grasa. Finalmente se tituló con una disolución valorada de KOH 0.068

N hasta observar un color rosa tenue. El índice de acidez se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$Ia = \frac{V * N * PM}{m}$$

Donde:

Ia = Índice de acidez

V= Volumen (L) gastado de KOH

N= Normalidad del KOH

PM= Peso molecular del KOH

m= peso de la muestra

6.5.8.3. Índice de yodo: En un matraz yodométrico se pesaron de 0.1 a 0.2 g del aceite, se le añadieron 10 mL de CH₂Cl₂ (cloruro de metileno) y se agitó fuertemente hasta la emulsificación del aceite, posteriormente se adicionaron 10 mL del reactivo de Wijs, se agitó lentamente y se mantuvo resguardado de la luz durante 30 min. A continuación se adicionaron 10 mL de KI (yoduro de potasio) al 10 % y 100 mL de agua destilada para detener la reacción. Finalmente se tituló con una disolución de Na₂S₂O₇ (tiosulfato de sodio) 0.1007 N, hasta el vire a amarillo paja. Enseguida se adicionó 1 mL de una disolución de almidón previamente preparada, tornándose la disolución a color verde oscuro, se continuó la titulación hasta que la disolución se tornara incolora. El índice de yodo se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$I.Y = \left(\frac{(T2-T1) * 0.127 \text{ g I}_2 * N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_7}{m} \right) * 100$$

Donde:

I.Y = Índice de yodo

T1= Volumen de Na₂S₂O₇ 0.1 N consumidos en la titulación del aceite

T2= Volumen de Na₂S₂O₇ consumido en la titulación del reactivo de Wijs.

m= peso de la muestra

6.5.8.4. Índice de Saponificación: En un matraz bola se pesaron de 1.5 a 2.0 g de la muestra, se adicionaron 25 mL de KOH 0.6398 N y 25 mL de etanol absoluto, se mantuvo en reflujo con agitación constante por una hora, posteriormente la mezcla se vertió en un matraz erlenmeyer, se adicionaron tres gotas de fenolftaleína como indicador y se tituló el exceso de KOH con HCl 0.418 N hasta que el color rosa desapareciera y se tornara la coloración inicial de la mezcla. El índice de Saponificación se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$IS = \left(\frac{V1-V}{m} \right) * (56.1)(N)$$

Donde:

IS= Índice de saponificación

V1 = mL de la disolución de HCl 0.418 N empleados en la titulación del testigo (blanco)

V = mL de HCl 0.418 N empleados en la titulación de la muestra

m = peso de la muestra

N = Normalidad real de HCl

6.5.9. Composición química del biodiesel:

El porcentaje y tipo de esteres metílicos contenidos en el biodiesel de durazno se determinó empleando un cromatógrafo de gases marca Agilent 6890, usando una columna ATSilar (30 m x 0.25 mm y 25 μ m de espesor) de película con detector de ionización de flama (FID). El gradiente de temperatura de la columna osciló entre 170- 240°C, se utilizó hidrógeno con un flujo de 1.8 mL por minuto como gas transportador. Se corrió una mezcla estandarizada de esteres metílicos de ácidos grasos, y se utilizaron sus tiempos de retención en la identificación de los picos de las muestras. Se determinaron los niveles de ácidos grasos así como el porcentaje del área de la superficie del pico total de esteres metílicos.

6.5.10. Calor de combustión:

Se llevó a cabo utilizando un equipo marca Parr, modelo 6400 que cumple con la Norma de calidad ISO 9001. Antes de realizar las determinaciones de las muestras se realizó la estandarización del equipo, para ello se pesaron 6 tabletas de ácido benzoico, determinando el calor de combustión generado por las mismas y obteniendo el gráfico de control. El coeficiente de variación obtenido fue de 0.03 %. Debido a que la variación del equipo era mínima, las determinaciones se realizaron una vez al aceite, biodiesel y en las mezclas B10D90, B20D20, B30D70 Y B40D60, tanto del biodiesel obtenido por maceración como el obtenido por Soxhlet, utilizando aproximadamente 0.7 g de muestra.

6.5.11. Mezclas Biodiesel/ Diesel:

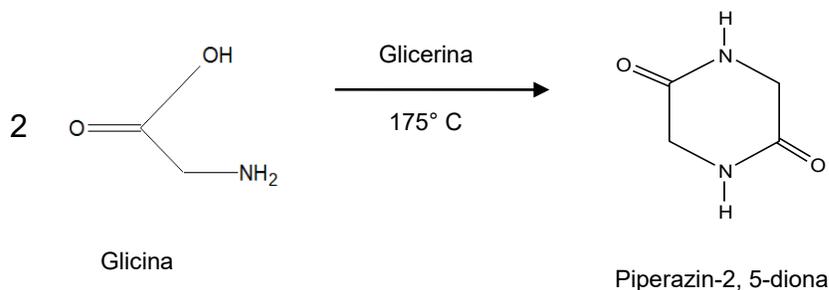
El biodiesel obtenido tanto por maceración como por soxhlet fue mezclado con diesel (PEMEX), las proporciones fueron las siguientes: B10D90 (10 % biodiesel, 90 % diesel), B20D80 (20 % de biodiesel, 80 % diesel), B30D70 (30 % biodiesel, 70 % diesel) y B40D60 (40 % biodiesel, 60 % diesel). A cada una de las mezclas obtenidas se les determinó la viscosidad dinámica, viscosidad cinemática, densidad relativa (punto 6.5.8.1) y calor de combustión (punto 6.5.10).

6.5.12. Detección de Ciclopéptidos

6.5.12.1. Particiones: Las particiones se efectuaron al extracto metanólico obtenido del bagazo de la semilla del durazno.

- **Partición Hexano:** Se pesaron 31.83 g del extracto metanólico de la muestra, y se transfirieron a un embudo de separación de 250 mL, adicionando 50 mL de agua destilada y 70 mL de hexano, se agitó lentamente para evitar la emulsificación, se dejó reposar para que las fases se separaran. El proceso anterior se repitió dos veces. Finalmente se juntó todo el disolvente recuperado y se evaporó utilizando un rotavapor, pesando el concentrado obtenido.
- **Partición Diclorometano:** La fase acuosa remanente de la partición de hexano se transfirió a un embudo de separación, adicionando 100 mL de diclorometano, se agitó lentamente y se dejó reposar hasta que las fases se separan. El proceso anterior se repitió dos veces. El disolvente recuperado de las tres extracciones se evaporó en un rotavapor, pesando el concentrado obtenido. La fase acuosa fue recuperada para obtener la siguiente partición.
- **Partición de Acetato de etilo:** La fase acuosa recuperada de la partición de diclorometano, fue transferida a un embudo de separación de 250 mL, realizando 3 lavados con 100 mL de acetato de etilo. El disolvente recuperado de las tres extracciones se reunió en un matraz bola, concentrando en rotavapor y pesando el total de extracto obtenido.
- **Partición acuosa:** El volumen de agua remanente de todas las particiones fue transferido a un rotavapor para su concentración, debido a su alto punto de ebullición, se aumentó la presión y la temperatura. Finalmente el extracto recuperado se pesó.
- Para establecer la presencia de Ciclopéptidos en las muestras, se sintetizó al Ciclopéptido Piperazin- 2,5-diona.

6.5.12.2. Síntesis de Piperazin- 2,5-diona: Ante la dificultad de contar con un Ciclopéptido que ayudara en la detección de otros ciclopéptidos presentes en el bagazo de semilla de durazno, se optó por sintetizar a la Piperazin- 2,5-diona, de acuerdo con la reacción mostrada en el Esquema 10.



Esquema 10: Reacción para la formación de Piperazina-2,5-diona

6.5.12.3. Procedimiento: Se mezclaron 5.1339 g de glicina y 25 mL de glicerina en un matraz de tres bocas de 50 mL, se montó un reflujo con agitación mecánica constante. La mezcla se calentó a 175°C por 1 hora, tiempo después del cual se enfrió a temperatura ambiente, posteriormente se dejó reposar toda la noche en refrigeración. Transcurrido el tiempo de reposo (24 horas) se centrifugó la suspensión formada a 3000 rpm, decantando el líquido separado de la misma. El sólido recuperado se transfirió a un filtró en un embudo Büchner con ayuda de metanol frío, lavando el filtrado utilizando 200 mL del mismo disolvente. El producto obtenido fue recrystalizado utilizando 30 mL de agua caliente. Finalmente el material se disolvió en 30 mL de agua caliente, adicionando 0.4 g de carbón activado, ebulviendo por 3 minutos y filtrando la disolución con ayuda de un embudo Büchner. EL filtrado se enfrió con hielo, colectando los cristales incoloros obtenidos de Piperazindiona, mismos que fueron lavados con agua fría y secados en estufa a 50° C.

6.5.12.4. Detección de aminoácidos con Ninhidrina

6.5.12.4.1. Disolución de Ninhidrina: Se pesaron 0.0868 g de Ninhidrina y adicionaron 15 mL de N- butanol y 0.45 mL de ácido acético. Se preparó una placa cromatográfica en la que se colocaron distintos aminoácidos como referencia, así como las particiones obtenidas y el Ciclopéptido sintetizado. Se eluyó en una mezcla de cloroformo/ metanol/ agua (5:4:1v/v/v). La placa se dejó secar y se reveló con la disolución de Ninhidrina (previamente preparada), secando el exceso de Ninhidrina con aire caliente. La aparición de manchas rosa- café indicó la presencia de aminoácidos.

6.5.12.5. Detección de Péptidos y Ciclopéptidos con σ -tolidina

6.5.12.5.1. Disolución de σ -tolidina: Se pesaron 0.04 g de σ - tolidina y adicionarlos en 7.5 mL de ácido acético glacial. A la mezcla anterior se le adicionaron 125 mL de agua destilada en los cuales se disolvieron previamente 0.25 g de KI (yoduro de potasio).

En una placa cromatográfica se aplicó el Ciclopéptido sintetizado (Piperazin- 2,5-diona), y las particiones obtenidas (partición de Diclorometano, partición de Acetato de etilo y partición de hexano), eluyendo en una mezcla de Cloroformo/metanol/agua ($\text{CHCl}_3/\text{MeOH}/\text{H}_2\text{O}$) (5:4:1 v/v/v), dejando secar y colocando la placa en un vaso de precipitados de 150 mL que contenía un volumen pequeño de hipoclorito de sodio comercial, mismo que mantenía una atmósfera de vapores de Cloro. La placa se introdujo por cinco minutos y se posteriormente se dejó secar por aproximadamente 5 horas, para eliminar el exceso de cloro. Una vez eliminado el exceso de cloro, la placa fue rociada con *o*-tolidina. La aparición de manchas azules indicó la presencia de Ciclopéptidos.

Nota: Para evitar un resultado falso/ positivo debido a que no se hubiese eliminado por completo el exceso de cloro, antes de rociar completamente la placa, se rociaba una esquina de la placa, si aparecía una coloración azul, el exceso de cloro no había sido eliminado aún, por lo cual se dejaba secar por más tiempo.

6.5.13. Antioxidantes:

La determinación de antioxidantes se llevó a cabo aplicando los ensayos de Folín-Ciocalteu adaptado a microplacas (Singleton and Rossi, 1965)) y del radical libre estable 2,2'-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH•, por sus siglas en inglés, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil) siguiendo el método de Cheng *et al.* (2006).

Preparación de la muestra para fenoles totales Se pesaron 7.007 g del bagazo de la almendra del durazno procedente de la extracción por maceración con hexano. Posteriormente se adicionaron 40 mL de una mezcla agua/etanol (7:3, v/v) llevando a agitación constante (100 rpm, 2 h, 37°C). La mezcla resultante se sonicó por 15 minutos y se filtró. El filtrado se reservó, mientras que el bagazo fue sometido a una segunda extracción con 40 mL una mezcla acetona/agua (7:3, v/v), nuevamente se agitó (100 rpm, 2 h, 37°C), se sonicó (15 minutos) y filtró. El filtrado resultante se juntó con el obtenido inicialmente y se ajustó el pH alrededor de 3.

El extracto final fue centrifugado por 15 minutos a 3000 rpm, posterior a ello, se procedió a decantar los sedimentos separados del extracto. El pH fue medido nuevamente y ajustado a 3. Finalmente el extracto fue concentrado en un rotavapor marca Buchi. El extracto concentrado fue nombrado “extracto madre” del cual se obtuvieron 312.8 mg. A partir de este extracto se pesaron 80.20 mg y se aforó a 50 mL (ésta dilución se nombró como “dilución 1”). En Todas y cada una de las pruebas realizadas se utilizó la dilución 1.

Curva de ácido gálico: Se pesaron 12.5 mg de ácido gálico y se aforaron con 50 mL de agua destilada. Se tomaron alícuotas de 400, 800, 1200, 1600, 2000, 2400, 2800 y 3200 μL y se llevaron a un volumen total de 10 mL con agua/acetona (1:1, v/v), estas fueron las diluciones finales y de las cuales se tomaron las muestras para la preparación de las microplacas.

Preparación de microplacas: En una microplaca de 96 pozos se mezclaron, en cada pozo, 25 μL de extracto o 25 μL de las diferentes diluciones de ácido gálico o la muestra. Posteriormente a cada pozo de la placa se adicionaron 30 μL de Na_2CO_3 al 20 %, 125 μL de agua destilada y 20 μL del reactivo de Folan-Ciocalteu (diluido 1:10 con agua destilada). El agua y el reactivo de Folan-Ciocalteu se adicionarán automáticamente haciendo uso del sistema de inyección automática del equipo de microplacas. Después, la microplaca, con las mezclas de reacción, se dejó en la obscuridad durante 30 minutos y se leyeron las absorbancias a 760 nm. Las mediciones se hicieron por triplicado. La determinación de la concentración de fenoles se realizó por interpolación de las absorbancia con la curva estándar. Los resultados del contenido de fenoles totales se expresaron en miligramos de fenoles equivalentes a ácido gálico por gramo de muestra en base seca ($\text{mg EAG g}_{\text{bs}}^{-1}$).

Ensayo del radical libre estable DPPH

Preparación de la muestra. Se pesaron 0.2326 g de extracto llevando a un volumen final de 5 mL con una mezcla metanol/agua (4:1, v/v), a continuación se tomaron 500 μL y se llevaron a un volumen de 1000 μL , de ésta disolución se tomaron las siguientes alícuotas: 200 μL , 600 μL , 800 μL y 900 μL llevando a un volumen final de 1000 μL

Todas las disoluciones se prepararon con metanol/agua (80:20 v/v). La disolución stock de DPPH• con una concentración 32.41 mM se preparó el mismo día y se diluyó hasta obtener una concentración final de 0.207 mM. A partir de una disolución stock de Trolox 0.479 mM se tomaron alícuotas para obtener diluciones con las siguientes concentraciones 2.4, 9.6, 19.1, 38.3 y 57.5 μM . En cada pozo de una microplaca se colocaran 100 μL de las disoluciones de prueba y 100 μL de las diferentes disoluciones de Trolox (todo por triplicado). Para tener un control se destinaron 4 pozos en los que se adicionaron 100 μL de metanol/agua (80:20 v/v) y una columna completa de pozos donde se adicionaron sólo 200 μL metanol/agua (80:20 v/v) se utilizó como blanco. Después, haciendo uso de los inyectores automáticos se adicionaron 100 μL de DPPH• 0.207 mM a todos los pozos con excepción de los que contenían el blanco. El equipo de microplacas se programó para agitar por 30 segundos y posteriormente tomar lecturas de absorbancia a 515 nm, en intervalos de un minuto durante 30 minutos. La capacidad total del DPPH• se calculó como el % DPPH• degradado de acuerdo a la ecuación (1)

$$\% \text{DPPH}^{\bullet} \text{ Degradado} = \left[1 - \frac{A_m - A_b}{A_c - A_b} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde: A_m , A_b y A_c representan las absorbancias de las disoluciones de prueba, blanco y control leídas a 515 nm después de 20 minutos de reacción con el DPPH•. Los valores del porcentaje de degradación del DPPH• a diferentes tiempos de reacción obtenidos de la ecuación (1) se graficaron en función del tiempo. A partir de las cinéticas de degradación se calcularon las áreas bajo la curva (ABC) (ecuación 2) de disoluciones de prueba y del Trolox a diferentes concentraciones.

$$ABC = 0.5f_0 + (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_{i-1}) + 0.5f_i \quad (2)$$

Donde f_0 es el DPPH• inicial y f_i es el DPPH• total consumido. Los datos se procesaron en el programa Microsoft® Excel para calcular las áreas bajo la curva de cada tratamiento y del Trolox. Para calcular el valor de RDSC se aplicó la ecuación (3) que relaciona el área bajo la curva de las disoluciones de prueba y el área bajo la curva del Trolox, cuando se alcanza el 50 % de degradación del DPPH•.

Los valores de RDSC fueron expresados en mM de equivalentes de Trolox por gramo de la muestra en base seca (mM ET g⁻¹ bs)

$$RDSC = \left(\frac{ABC_m}{ABC_T} \right) \times \left(\frac{\text{molaridad del Trolox}}{\text{masa de la muestra}} \right) \quad (3)$$

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Determinación de las características físicas de las semillas de desechos de durazno

La caracterización física de las semillas permite obtener un promedio de las medidas del largo, ancho, grosor y peso de la misma. Aunado al error estándar de cada uno de los parámetros anteriores es posible estimar la cantidad aproximada de almendras en un determinado lote, o el peso de las mismas, y relacionando éste último dato con el rendimiento, hacer también una estimación de la cantidad de aceite a obtener en un proceso. Para el presente proyecto, la caracterización física se realizó con 30 semillas de durazno (Imagen 3), el peso de la cáscara de la semilla del durazno fue obtenido mediante la diferencia del peso de la semilla con la almendra menos el peso de la almendra sola. Los promedios de cada parámetro y su respectivo intervalo se presentan en la tabla 14.

Tabla 14

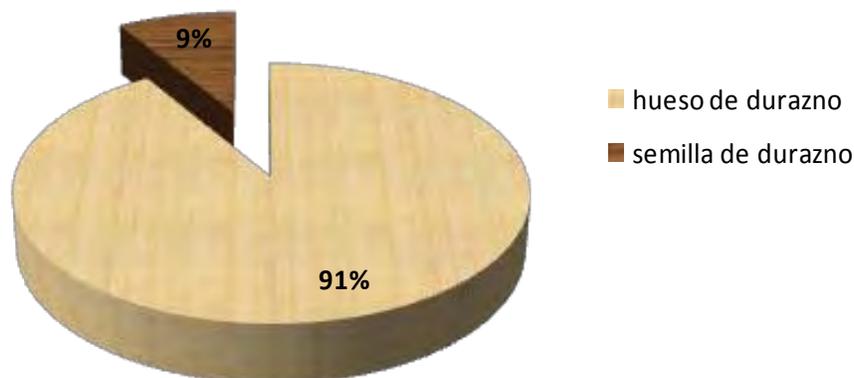
*Dimensiones físicas de la semilla y almendra del durazno (*Prunus persica*)*

Característica física	semilla	almendra
Peso (g)	(Con almendra) 3.8549 ± 0.2676	0.3406 ± 0.0263
	(Sin almendra) 3.5142 ± 0.2619	
Largo (cm)	2.5666 ± 0.0821	1.3633 ± 0.0522
Ancho (cm)	1.9066 ± 0.0526	0.94 ± 0.0347
Grosor (cm)	1.7033 ± 0.0867	0.5266 ± 0.0275



*Imagen 3: Caracterización de la semilla y almendra del durazno (*Prunus pérsica*)*

La semilla del durazno tienen un peso promedio de 3.8549 g, del cual 3.5142 g corresponden a la cáscara y 0.3406 g a la almendra, en términos de porcentaje el 9 % corresponde al peso de la almendra, mientras el 91 % corresponde a la cáscara de la semilla, en la Gráfica 1 se observa la composición de la semilla en términos de porcentaje.



Gráfica 1: Composición de la semilla del durazno

La Gráfica 1 denota que la cantidad de almendra obtenida representa una porción mínima en relación al peso total de la semilla. Es posible que la cáscara de la semilla también sea una fuente de aceite, y con ello el porcentaje de materia prima se incrementa, sin embargo para el proyecto, sólo se trabajó con la semilla.

7.2. Extracción del aceite del durazno (*Prunus persica*)

La extracción del aceite de las semillas de desechos de durazno se realizó por dos métodos: extracción soxhlet y extracción por maceración, los rendimientos obtenidos se presentan en la Tabla 15:

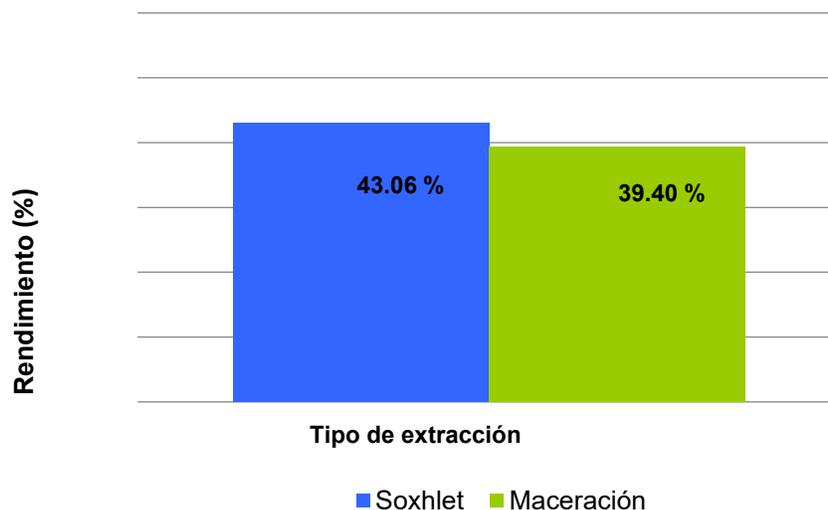
Tabla 15

Extracción del aceite de semilla de durazno

Propiedad	Extracción Soxhlet	Extracción maceración
Peso inicial de la muestra (g)	50.8	40.0
Peso de aceite obtenido (g)	25.32	15.76
Volumen obtenidos de aceite (mL)	27.00	17.50
Rendimiento (%)	46.06	39.40

Debido a que la cantidad de materia prima de la que se parte difiere en cuanto a cantidad, no se podría establecer una similitud en el rendimiento por peso, sin embargo haciendo una comparación del volumen obtenido, si se partiera de 40 g de almendras, para extracción Soxhlet se tendrían que obtener alrededor de 18.36 mL, con ello se observa que la extracción por maceración ofrece menor rendimiento que la extracción por Soxhlet, sin embargo se deben tomar en cuenta otros factores que también contribuyen a saber cuál de los dos métodos es más conveniente. De esta forma, la obtención por Soxhlet requiere luz eléctrica, personal que supervise el reflujó, materiales y equipo a utilizar como son papel filtro, recirculador, hielo, matraz bola, refrigerante, parrilla, el aparato de Soxhlet, entre otros. Por el contrario la extracción por maceración no requiere de tantos equipos y materiales, por lo anterior se considera que la extracción por maceración en cuanto a rendimiento

es más beneficiosa que la de Soxhlet. En la Gráfica 2 se muestran los rendimientos de ambas extracciones:



Gráfica 2. Rendimiento del aceite obtenido con relación al tipo de extracción

7.3. Caracterización del aceite de durazno (*Prunus persica*)

La determinación de parámetros fisicoquímicos son necesarios para su comparación con los estándares establecidos por normas internacionales, mismas que permiten estimar si el proceso de transesterificación puede llevarse a cabo, esto es, si tal reacción se realizará y dará resultados satisfactorios.

7.3.1. Índice de acidez, índice de yodo e índice de saponificación

Los resultados obtenidos del índice de yodo, índice de acidez e índice de saponificación se recopilan en la Tabla 16.

Tabla 16

Índice de acidez, yodo y saponificación del aceite del durazno

Parámetro	Índice de acidez (mg KOH/ g aceite)	Índice de Yodo (g I ₂ /100 g aceite)	Índice de saponificación (mg KOH/ g aceite)
Tipo de extracción			
aceite Soxhlet	34.856	83.52	248.91
aceite Maceración	21.853	93.87	222.35

El índice de acidez permite establecer el número de ácidos grasos libres presentes en una muestra, su determinación es muy importante debido a que predice si la reacción de transesterificación se llevará a cabo de manera satisfactoria. La norma internacional EN 14214 y la ASTM D6751 indican que el índice de acidez de un aceite no debe ser mayor a 0.5 mg KOH/ g aceite, sin embargo y como puede ser visto en la Tabla 16 los índices de acidez obtenidos para ambos tipos de extracción resultan mucho mayores, esto puede deberse a que se trata de materia prima obtenida a partir de desechos, expuesta a la humedad del medio y otros factores

que propiciaron el aumento del acidez en el aceite. La reacción para determinar el índice de acidez se lleva a cabo entre los ácidos grasos libres y la base añadida (hidróxido de potasio (KOH)). Cuando los ácidos grasos libres contenidos en el aceite están presentes en una baja cantidad, son neutralizados con la base añadida, sin embargo un aumento en el número de ácidos grasos ocasionaría que la cantidad de base añadida (KOH) fuese mucho mayor, produciendo una reacción de saponificación. Lo anterior es un reflejo de lo que sucedería si la reacción de transesterificación fuese realizada teniendo una cantidad elevada (mayor al 3 %) de ácidos grasos libres, ya que el KOH (que funge como catalizador en la reacción de transesterificación) sería consumido, disminuyendo su eficacia y produciendo, como ya se mencionó, la formación de jabón. Debido a lo anterior fue necesario realizar un tratamiento al aceite obtenido tanto por extracción Soxhlet como por maceración, dicho tratamiento se explica en el punto 7.6 “Transesterificación ácida”.

Por su parte el índice de Yodo es un indicador del número de dobles enlaces presentes en el aceite, su determinación es importante debido a la susceptibilidad de los mismos a la oxidación, lo que conlleva a su polimerización y enranciamiento. Los índices de yodo obtenidos para la extracción por Soxhlet y maceración se encuentran dentro del límite establecido por la Norma internacional EN 14214 (Índice de yodo no mayor a 120 g I₂/ 100 g muestra). Lo anterior da la pauta a considerar que el aceite de durazno es estable a la oxidación y por tanto al enranciamiento en periodos cortos.

Finalmente el índice de saponificación se refiere a la cantidad de miligramos necesarios para saponificar un gramo de grasa, es decir, es la cantidad requerida para hidrolizar al ester (proveniente del aceite) y formar el alcohol y la sal del ácido correspondiente. Debido a que el índice de saponificación está relacionado con la cantidad de esteres (triglicéridos) presentes y su reacción con las bases (KOH o NaOH), es un buen parámetro para conocer si es factible la transesterificación del mismo, de modo que al adicionar el catalizador, este no se consuma y forme jabón, generando problemas en la obtención del biodiesel. Como puede observarse en la Tabla 16 los índices de saponificación encontrados resultaron altos, de modo que se esperaba que una vez realizado el tratamiento para disminuir la acidez del aceite, se podría realizar la reacción de transesterificación sin temor a obtener una saponificación.

7.4. Calor de combustión del aceite del durazno

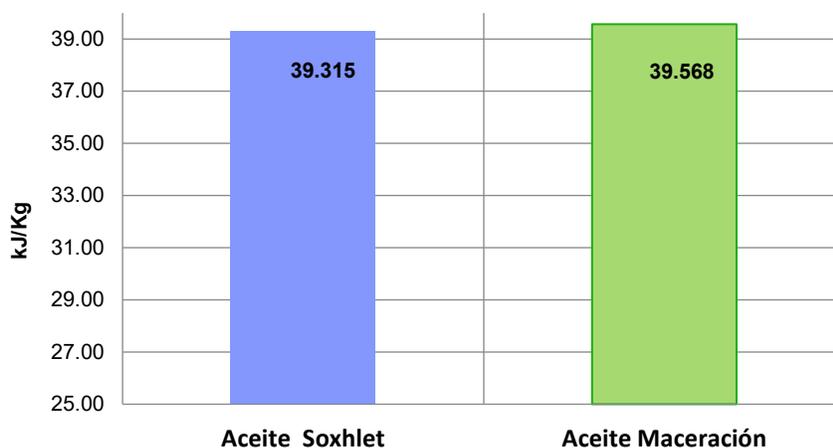
Los resultados del calor de combustión obtenidos para el aceite obtenido por Soxhlet y maceración se recopilan en la Tabla 17.

Tabla 17

Calor de combustión del aceite de durazno (Prunus persica) con relación al tipo de extracción

Muestra	Calor de combustión	
	KJ/Kg	cal/ g
aceite Soxhlet	39.315	9.390
aceite Maceración	39.568	9.450

En la Gráfica 3 se representan de manera visual los valores establecidos en la Tabla 17.



Gráfica 3: Calor de combustión del Aceite con relación al tipo de extracción

La determinación del calor de combustión realizada al aceite permitió estimar la cantidad de energía que se libera cuando éste se quema. Debido a que el calor de combustión es similar tanto para el aceite como para su respectivo biodiesel, es una prueba que permite establecer si el biodiesel obtenido tendrá un calor de combustión que cumpla con las especificaciones establecidas en las normas internacionales, como puede observarse en la Tabla 17 y Gráfica 3, el aceite obtenido por maceración se encuentra por arriba de 39, 500 kJ/Kg, límite establecido por la norma internacional ASTM D240 “Método de prueba estándar para calor de combustión de hidrocarburos mediante calorímetro de bomba” para uso del biodiesel, por su parte el aceite obtenido por Soxhlet no supera el límite establecido, sin embargo, la diferencia en cuanto al límite establecido, es bajo, por otra parte, se debe tomar en cuenta que se trata de aceite obtenido de desechos, de modo que puede considerarse apto para su uso como materia prima para la obtención de biodiesel. Los resultados obtenidos daban pauta a considerar que el biodiesel obtenido de estos aceites también presentara un calor de combustión superior o cercano a los 39, 500 kJ/Kg y cumpliera con lo establecidos en las normas internacionales.

7.5. Viscosidad cinemática, Viscosidad dinámica y Densidad del aceite de durazno

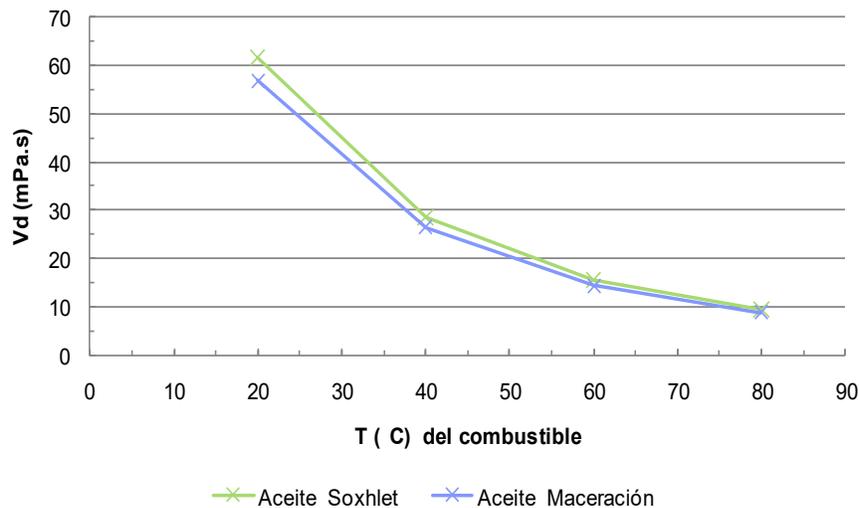
La determinación de los parámetros de viscosidad cinemática, viscosidad dinámica y densidad se realizaron con fines informativos, a modo de visualizar el decremento de las mismas al realizar la transesterificación del aceite. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18
Propiedades fisicoquímicas del aceite de durazno

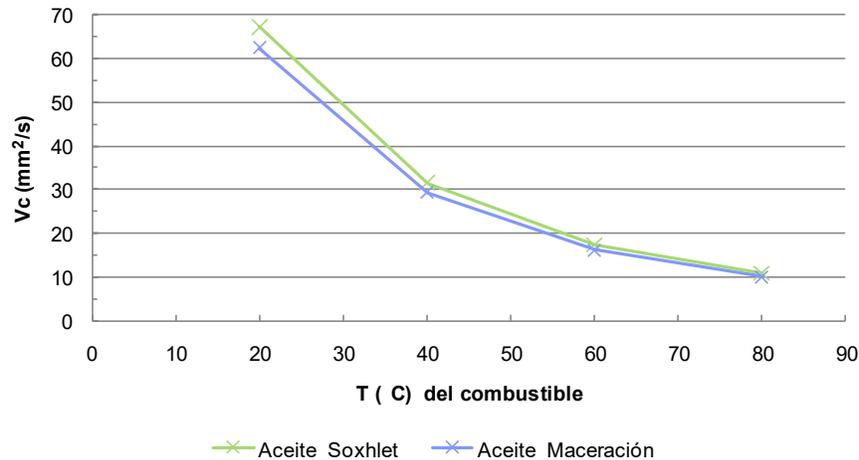
T (°C)	aceite soxhlet			aceite maceración		
	*Vd (mPa.s)	*Vc (mm ² /s)	*d (g/mL)	Vd (mPa.s)	Vc (mm ² /s)	d (g/mL)
20	61.734	67.282	0.9175	56.874	62.445	0.9108
40	28.502	31.529	0.904	26.363	29.34	0.8982
60	15.424	17.319	0.8906	14.336	16.203	0.884
80	9.438	10.757	0.8774	8.7692	10.062	0.8715

Observaciones: * Vd: Viscosidad dinámica Vc: Viscosidad cinemática d: densidad

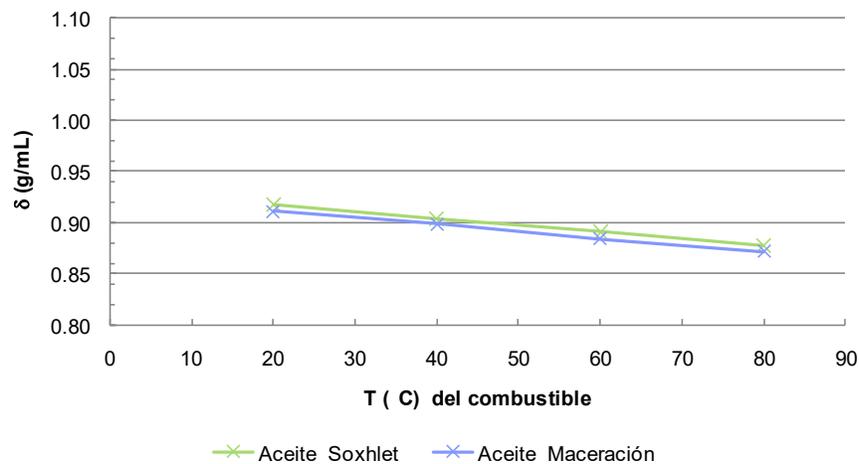
De manera gráfica los resultados de la tabla 18 se presentan en las gráficas 4, 5 y 6:



Gráfica 4: Viscosidad dinámica del aceite de durazno con respecto al tipo de extracción



Gráfica 5: Viscosidad cinemática del aceite de durazno con respecto al tipo de extracción



Gráfica 6: Densidad del aceite de durazno de acuerdo al tipo de extracción

Una de las razones más importantes por la cual los aceites no se utilizaron como combustibles en motores fueron sus altas viscosidades, hecho que queda comprobado al visualizar los resultados obtenidos (Gráfica 4, 5 y 6). En primera, las viscosidades obtenidas por extracción soxhlet y por maceración no mostraron grandes variaciones entre ellas, en segunda, ambas presentaron valores muy altos de viscosidad dinámica y cinemática, sin embargo, las viscosidades obtenidas por maceración resultaron casi una unidad más bajas que las de extracción Soxhlet. El efecto de la alta viscosidad sería fatal si se aplicase a motores de combustión interna, debido a que la atomización, e incluso el paso del aceite hacia la bomba serían escasos, ocasionando que residuos del mismo aceite quedaran asentados y formaran taponamiento de los inyectores. Además se debe tomar en cuenta que la viscosidad aumenta a temperaturas bajas, por lo que el uso de los aceites como combustibles no sería apto en climas fríos. Así mismo la Gráficas 4 y 5 muestran como la viscosidad es dependiente de la temperatura, si bien no obteniendo una línea totalmente recta, pero que resulta inversamente proporcional a la temperatura bajo la cual se realiza la

determinación. Por otra parte la densidad es una propiedad que influye en la potencia de salida del motor, esto debido a la cantidad de masa que puede ser inyectada. Al igual que los gráficos de viscosidad, la densidad es inversamente proporcional a la temperatura, sin embargo para este caso, la densidad no mostro variaciones tan grandes como en el caso de la viscosidad. Analizando los resultados de viscosidad y densidad, al realizar la reacción de transesterificación y obtener biodiesel se esperaba que tanto los valores de viscosidad cinemática, dinámica y densidad disminuyeran, hasta compararse con los del diesel petroquímico.

7.6. Transesterificación ácida

En el apartado 7.3.1 “Índice de acidez, índice de yodo e índice de saponificación” se describió de la importancia de tener una cantidad menor a 0.5 mg KOH/ g de muestra para obtener resultados favorables en la reacción de transesterificación. Debido a que la materia prima es el aceite extraído de semillas de desechos de durazno, este puede contener impurezas tales como agua y alta concentración de ácidos grasos libres. Una transesterificación realizada con un alto contenido de ácidos grasos libres produciría que la base utilizada, en este caso el hidróxido de potasio (KOH), reaccione con los ácidos grasos libres, pero no para neutralizar, sino para producir jabón (reacción de saponificación). Debido a ello se ha implementado el pretratamiento con catalizadores ácidos, que ayuda a disminuir notoriamente la cantidad de ácidos grasos presentes. En el caso del aceite de durazno, y debido a que en la literatura no existen condiciones a las cuales se debe llevar a cabo la reacción de esterificación ácida, se realizaron varios tipos de experimentos a modo de obtener resultados favorables (alto rendimiento de materia prima y disminución del índice de acidez para cumplir con la especificación), de los cuales en Tabla 19 se recopilan las condiciones de los pretratamientos en los que se obtuvieron los mejores resultados:

Tabla 19

Pretratamientos: Esterificación ácida

Tratamiento	Moles adicionados			Relación molar	Condiciones de reacción		Índice de acidez (mg KOH/ g muestra)
	aceite	metanol	ácido sulfúrico		T (°C)	t (h)	
1	0.010	0.037	5.75×10^{-3}	1:3:1.7	60°C	4h	20.38
2	0.010	0.037*	5.75×10^{-3}	1:3:1.7	60°C	4h	10.078
3	0.02	0.733*	0.033	1:36:1.5	60°C	3h	0.747

Nota: *Se utilizó metanol anhidro

Todos los tratamientos citados en la Tabla 19 se realizaron con aceite por extracción Soxhlet. En el primer tratamiento se añadieron 20 mL de aceite de durazno a un matraz bola calentándolo a 60°C, por separado se mezclaron 0.1 mL de ácido sulfúrico concentrado y 1.5 mL de metanol, posteriormente esta mezcla se añadió al aceite contenido en el matraz bola. La mezcla final se mantuvo en reflujo con agitación y temperatura constante por 4 horas. El índice de acidez obtenido fue de 20.38 mg KOH/ g muestra, 10.48 unidades abajo del índice inicial, pero muy por encima aún

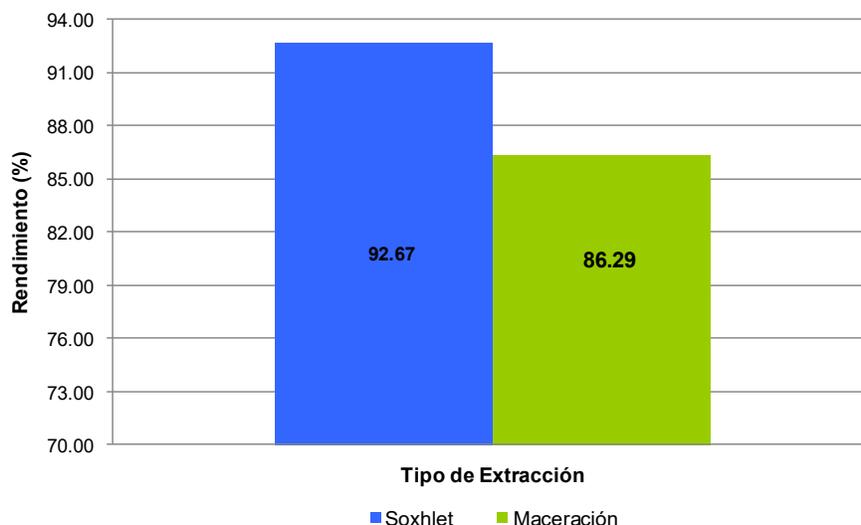
de las especificaciones. Debido a que diversos autores recomiendan el uso de metanol anhidro para evitar que el agua disminuya la esterificación de los ácidos, el segundo tratamiento se mantuvo bajo las mismas condiciones que el primero, pero utilizando metanol anhidro, los resultados obtenidos fueron favorables ya que el índice de acidez se estableció en 10.078 KOH/ g, sin embargo, al igual que en el primer tratamiento, aún no se cumplía con la especificación establecida, por lo cual se decidió realizar un tercer tratamiento, esta vez aumentando la cantidad de metanol añadido. Autores como Canakci y Van Gerpan recomiendan el uso de grandes cantidades de exceso de metanol (relaciones 15:1 a 35:1), razón por la cual, el tratamiento 3 se realizó tomando la relación 1:36 (v/v), manteniéndose a 60°C y agitación constante por 3 horas. El índice de acidez se estableció en 0.747 mg KOH/ g aceite, con lo cual tampoco se llegó a cumplir con las especificaciones establecidas por la norma, pero que tomando en cuenta de que se trata de materia prima proveniente de desechos, se consideró un índice aceptable para proceder a la transesterificación básica. El pretratamiento 3 también se realizó al aceite obtenido por maceración, sin embargo no se determinó el índice de acidez debido a la poca cantidad que se tenía de la muestra.

El uso de un pretratamiento para disminuir la acidez es necesario si se desea obtener biodiesel, sin embargo también implica el riesgo de que la cantidad de materia prima (aceite de durazno) disminuya debido a pérdidas durante el mismo tratamiento. Durante el pretratamiento 3 se obtuvieron los rendimientos que se indican en la Tabla 20:

Tabla 20
Rendimiento del pretratamiento 3 (esterificación ácida)

Método de extracción	aceite inicial (mL)	aceite obtenido (mL)	Rendimiento (%)
soxhlet	15.00	13.90	92.67
maceración	17.50	15.1	86.29

La Gráfica 7 muestra de manera visual los rendimientos obtenidos durante el pretratamiento del aceite de durazno.



Gráfica 7: Rendimiento del pretratamiento 3 (esterificación ácida) en el aceite de durazno

La presencia de una pequeña cantidad de agua no sólo en los reactivos utilizados (como el metanol) sino en la misma muestra puede ocasionar que la esterificación de los ácidos se vea disminuida; por su parte la extracción por maceración no se realizó de manera totalmente aislada, ya que a pesar de que el frasco que contenía a la materia prima (aceite de durazno) con hexano fue tapado para evita la salida del solvente, sin embargo, la exposición al medio ambiente es un factor que no pudo ser controlado, y es probable que la cantidad de agua presente en la muestra fuese más alta en comparación con la contenida en la muestra de soxhlet (donde la extracción fue aislada). Con lo anterior se define que la conversión de ácidos a esteres resulta más favorable cuando se utiliza muestra proveniente de extracción por soxhlet.

7.7. Obtención de biodiesel por reacción de transesterificación

Una vez que se logró disminuir el índice de acidez de las muestras (tanto por maceración como por soxhlet) se procedió a realizar la reacción de transesterificación, para lo cual las muestras se trataron con las proporciones de reactivos indicadas en la Tabla 21:

Tabla 21

Relación de reactivos para la obtención de biodiesel por reacción de transesterificación

Tipo de extracción	Cantidad de Aceite con pretratamiento (mL)	Cantidad de KOH (mg)	Cantidad de metanol anhidro (mL)
soxhlet	12.8	0.912	6.4
maceración	15	0.105	7.5

Algunos autores han concluido que mediante la relación molar 1:6 (aceite/metanol) se han obtenidos rendimientos de hasta el 98 % en la conversión de triglicéridos a esteres metílicos, todo ello dependiendo de las condiciones de reacción tales como temperatura, velocidad de agitación y el porcentaje de catalizador. Para el presente proyecto se utilizó la relación 1:12 de aceite con

metanol con el objetivo de favorecer la reacción de transesterificación, en cuanto al porcentaje de catalizador, se añadió al 0.8 % (m/m de aceite). Las reacciones (Soxhlet y Maceración) se mantuvieron a 60°C con agitación constante, la reacción fue monitoreada mediante cromatografía en capa delgada (CCD). Una vez terminada la reacción, la mezcla fue depositada en un embudo de separación durante 24 horas, después de las cuales pudo ser apreciada la separación de la capa que contenía impurezas y glicerina (capa inferior) y la capa que contenía los esteres metílicos de los ácidos grasos (capa superior), es decir al biodiesel. En la Imagen 4 se puede apreciar la separación de dichas fases en el embudo de separación.

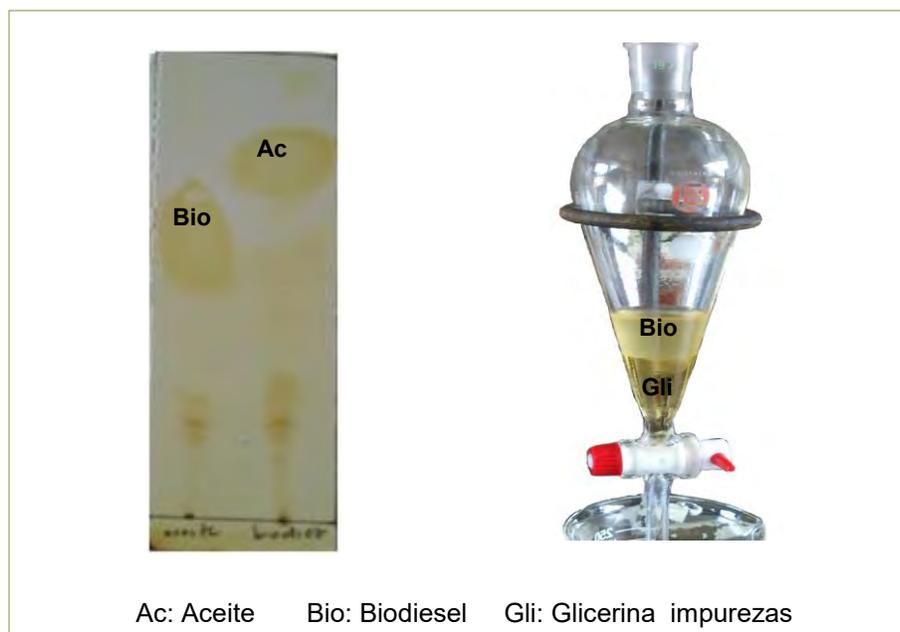


Imagen 4: Seguimiento de la reacción de transesterificación en CCD y separación del biodiesel de la glicerina e impurezas contenidas en el aceite tratado

A la izquierda de la Imagen 4 se muestra la última placa realizada en cromatografía de capa delgada, en la cual se puede apreciar la diferencia que existe entre la elución del aceite y la dirigida por el biodiesel y ante la cual se dio pauta para adicionar la mezcla en el embudo de separación. Como se muestra del lado derecho de la imagen la separación entre el biodiesel y la glicerina es evidente.

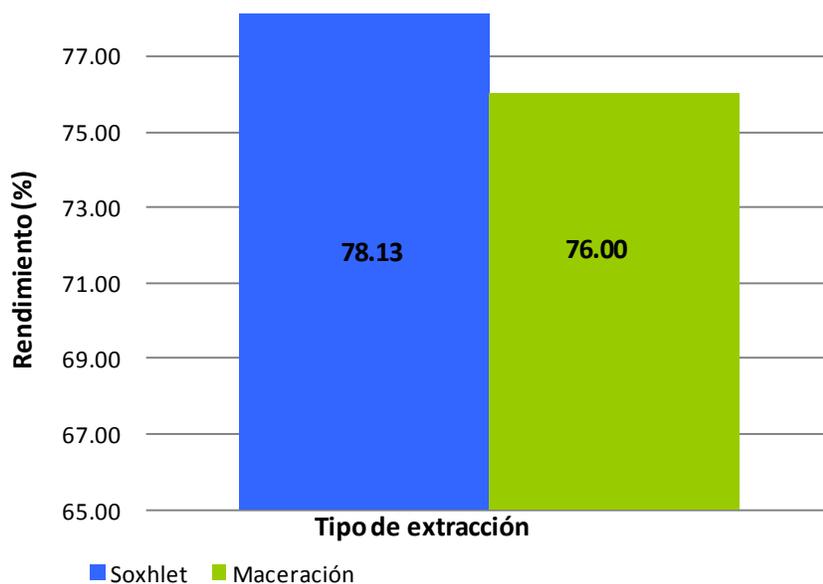
Los rendimientos para la obtención de biodiesel se presentan en la Tabla 22:

Tabla 22

Rendimiento de biodiesel con relación al tipo de extracción

Tipo de extracción	Cantidad de Aceite con pretratamiento (mL)	Cantidad de biodiesel obtenido (mL)	Rendimiento (%)
soxhlet	12.8	10.0	78.13
maceración	15	11.4	76.00

De manera visual los resultados reportados en la Tabla 22 se muestran en la Gráfica 8:



Gráfica 8: Rendimiento de biodiesel a partir de Aceite de durazno (previo tratamiento)

El bajo rendimiento se debe a que el tratamiento de transesterificación incluye dos etapas de lavado (una con ácido cítrico al 0.1 % y la segunda con agua caliente). El lavado con ácido cítrico, al ser un ácido débil, permite remover la catálisis producida por el KOH (hidróxido de potasio), este proceso es delicado, debido a que un exceso de ácido cítrico o un movimiento brusco en los lavados produce que la mezcla se emulsifique, impidiendo la separación del biodiesel. En la imagen 5 se puede apreciar la separación del biodiesel al realizar los lavados con ácidos cítrico al 0.1 %.

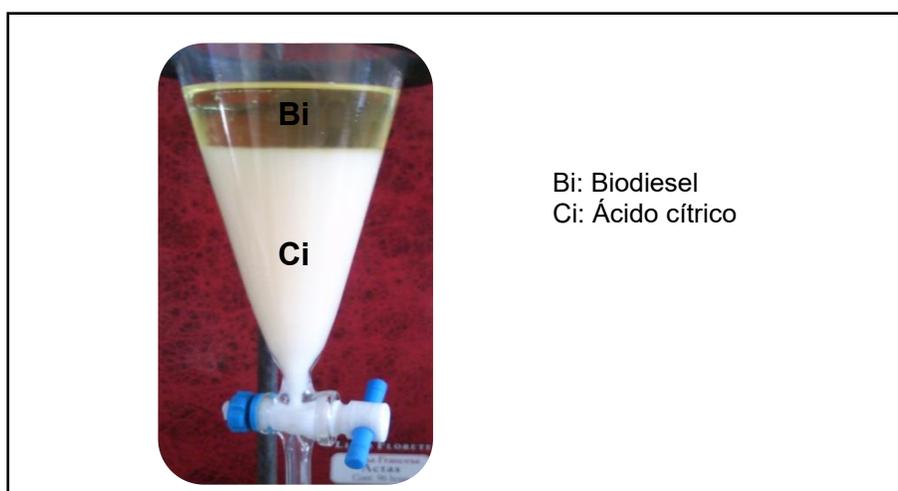


Imagen 5: Lavado del biodiesel con ácido cítrico al 0.1 %

Los lavados se realizaron 1:1.5 (V/V) de aceite tratado con ácido cítrico, debido a que, como ya se mencionó, una cantidad menor producía una emulsión, sin embargo, a pesar de los cuidados que se tuvieron en la adición del ácido cítrico y de que la agitación era lenta, parte del biodiesel se perdía al separar las fases en el embudo de separación. Por otra parte el lavado con agua caliente, también contribuyó a que otra pequeña del parte de biodiesel se perdiera una vez más en la separación de fases. Además de los lavados, el trasvasado de las mezclas y la recuperación final del biodiesel en el rotavapor fueron otros factores que contribuyeron a disminuir el rendimiento. El resumen de los rendimientos obtenidos en la extracción del aceite, reacción de esterificación ácida y transesterificación básica se recopilan en la tabla 23:

Tabla 23*Rendimientos obtenidos: aceite, esterificación ácida y transesterificación básica*

Tipo de extracción	Rendimientos (%)		
	Extracción aceite (mL)	Esterificación ácida	Transesterificación básica
Soxhlet	43.06	92.67	78.13
Maceración	39.40	86.29	76.00

A simple vista la diferencia entre rendimientos no parece grande, sin embargo se debe tener en cuenta que la cantidad de producto obtenido de una reacción, se convertirá en el sustrato para realizar la segunda reacción, y que por tanto ambas son dependientes, de modo que si una disminuye, la materia prima para la siguiente reacción se verá disminuida, obteniendo cantidades escasas del producto, a pesar de que el rendimiento sea alto. En volúmenes pequeños, quizás esta diferencia no sea significativa, pero no así cuando los volúmenes son a tamaño industrial, y más aún si la materia prima es difícil de obtener o es costosa, de modo que a pesar de que para la extracción por Soxhlet al inicio resulte ser más costosa por el equipo, personal y condiciones de trabajo utilizados, al final los resultados obtenidos con este tratamiento superarán por mucho a los resultados que se llegasen a generar si se utilizara una extracción por maceración.

7.8. Caracterización del biodiesel

Algunos de los análisis realizados al aceite, también se le determinaron al biodiesel, esto tras haber realizado el tratamiento de acidez (esterificación ácida), con la finalidad de evaluar si las características del aceite mejoraban y considerarlo una opción rentable como combustible.

7.8.1. Índice de acidez e índice de yodo del biodiesel de durazno

Los índices de acidez e índice de yodo reportados para el biodiesel se mencionan en la Tabla 24:

Tabla 24*Índice de acidez, yodo y saponificación del biodiesel de durazno (*Prunus persica*)*

Parámetro	Índice de acidez (mg KOH/ g Aceite)	Índice de Yodo (g I ₂ /100 g aceite)
Tipo de extracción		
Aceite Soxhlet	0.761	90.94
Aceite Maceración	3.02	91.60

EL índice de acidez obtenido en la esterificación ácida (pretratamiento) se estableció en 0.747 mg KOH/ g muestra (tabla 19), éste índice fue realizado en una muestra de aceite por extracción Soxhlet, comparando este resultado con el obtenido en la reacción de esterificación básica al biodiesel de durazno de 0.761 mg KOH/ g muestra, se observa que los resultados son poco variables, es decir, las propiedades del aceite obtenido tras el pretratamiento no se alteran y la reacción de transesterificación básica es específica para los triglicéridos contenidos en el aceite y sólo una cantidad pequeña reacciona con los ácidos grasos libres presentes, lo cual es fundamental para que se lleve a cabo la reacción de transesterificación y se obtenga biodiesel. Por otra parte el índice de acidez del biodiesel obtenido por extracción por maceración fue de 3.02 mg KOH/ g resultado que se encontró superior al índice obtenido por extracción soxhlet, lo anterior se atribuye a que el aceite obtenido por maceración contiene mayor cantidad de humedad, lo que repercute en la reacción de esterificación ácida y por tanto en la reacción de transesterificación básica, de modo que una vez más, el uso de materia prima obtenida a partir de la vía de extracción soxhlet presenta mejores resultados.

La norma internacional EN 14214 establece que el índice de yodo del biodiesel aplicable a motores de combustión interna no debe exceder de 120 g I₂/ 100 g muestra, los resultados obtenido para el biodiesel de durazno por Soxhlet y maceración fueron de 90.94 y 91.60 g I₂/100 g biodiesel respectivamente, por lo cual se cumple con la especificación establecida en la normatividad internacional. Debido a que este parámetro está relacionado con la polimerización del combustible y su estabilidad al almacenamiento, el cumplimiento de la misma define al biodiesel con características que le permiten ser estable al almacenamiento y a la polimerización.

7.8.2. Composición de ácidos grasos del biodiesel de durazno determinada por cromatografía de gases

La composición de esteres metílicos es uno de los parámetros que más se relacionan con la estabilidad oxidativa, el poder calorífico y las propiedades de flujo del biodiesel. El biodiesel tiene la característica de presentar esteres con diferentes niveles de insaturación, lo que conlleva a que cada biodiesel obtenido a partir de un aceite presente características distintas. De modo general el biodiesel que contiene mayor cantidad de ácidos grasos saturados presenta una mayor estabilidad oxidativa, esto debido a que la presencia de dobles enlaces y posiciones alílicos o bis alílicos se ven disminuidas, recordando que las posiciones alílicos y bis alílicos son más fácilmente atacables

por los radicales libres, provocando así la oxidación, de aquí que el diesel sea más estable que el biodiesel, al no contener ni dobles enlaces ni oxígeno en su formulación. Por otra parte el biodiesel que contiene mayor cantidad de ácidos grasos insaturados presenta mejores propiedades de flujo, esto debido a que la presencia de dobles enlaces disminuye el punto de fusión, produciendo un aumento en la fluidez. El aumento o disminución del poder calorífico del biodiesel es reflejo de la insaturación o saturación de los ácidos grasos contenidos en el biodiesel, de esta manera, una mayor cantidad de átomos de Carbono e Hidrógeno en el biodiesel (mayor saturación) propiciará un aumento en el poder calorífico. Debido a que la composición de ácidos grasos resulta de gran importancia, se realizó la cromatografía de gases al biodiesel de durazno, el cromatograma obtenido se muestra en la Imagen 6.

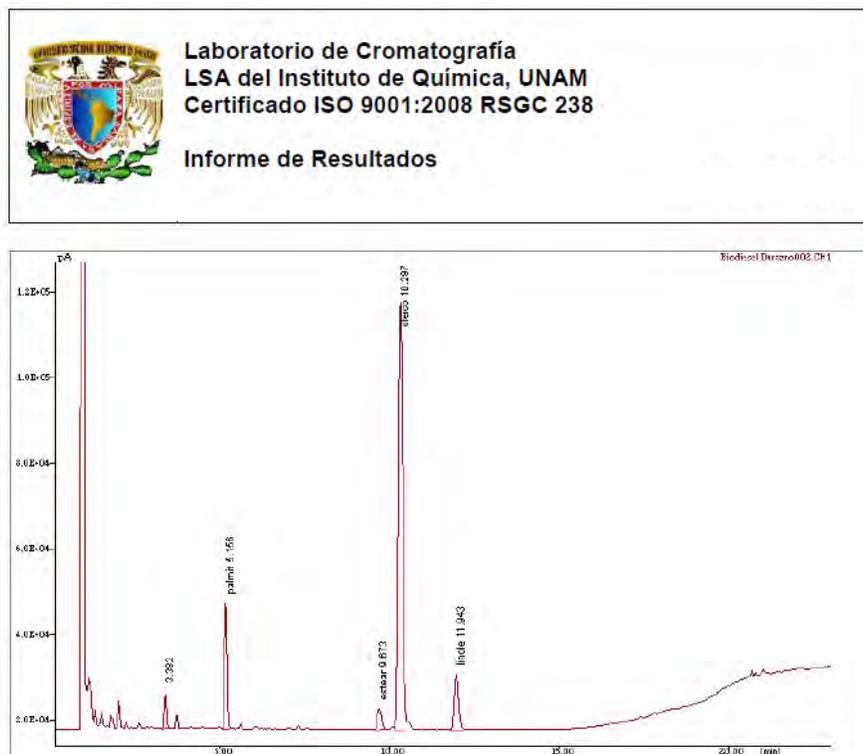


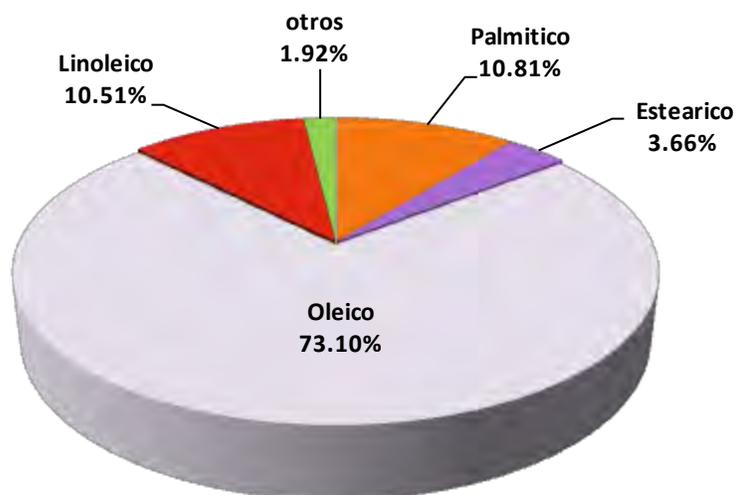
Imagen 6: Cromatograma de la composición de ácidos grasos contenidos en el biodiesel obtenido a partir de desechos de durazno

El contenido de ácidos grasos en el biodiesel de durazno se recopilan en la Tabla 25 y de manera visual en la Gráfica 9.

Tabla 25

Contenido de ácidos grasos en el biodiesel de durazno

Nombre del Ácido graso	Estructura	Porcentaje (%)
Palmitico	16:0	10.812
Esteárico	18:0	3.657
Oleico	18:1	73.100
Linoleico	18:2	10.509
Otros	-----	1.922



Gráfica 9: Composición porcentual de los esteres metílicos de ácidos grasos presentes en el biodiesel de durazno

Como puede notarse en la Gráfica 9 y Tabla 25, el ácido oleico es el aceite que está presente en mayor proporción con un 73.10 %, seguido del palmitico con un 10.81 % y el ácido linoleico con un 10.51 %. El biodiesel obtenido a partir del aceite de durazno cumple con los parámetros establecidos por la norma internacional EN 14214 en cuanto a cantidad de ácidos grasos, ya que el porcentaje de ácido Linolénico presente es menor a 12,0 %, además, debido a que el biodiesel no reportó esteres metílicos de ácidos grasos con más de cuatro dobles enlaces, también se cumple con las especificaciones para éste tipo de ácidos grasos (cantidad de esteres metílicos de ácidos grasos ≥ 4 dobles enlaces debe ser menor al 1 %). Por lo citado anteriormente se excluye la posibilidad de que en el biodiesel obtenido a partir de desechos de durazno se encuentren ácidos grasos altamente inestables a la oxidación. A pesar de lo anterior es necesario hacer notar que el ácido oleico contiene dos sitios alílicos y el ácido Linoleico presenta un sitio bis alílicos y dos sitios alílicos, mismos que son fácilmente atacables por radicales libres y que podrían presentar inestabilidad al calor y al almacenamiento.

7.9. Calor de combustión del biodiesel de durazno

La determinación del calor de combustión hizo posible relacionar el calor de combustión del aceite obtenido tanto por extracción soxhlet como por maceración, con su respectivo biodiesel. En la Tabla 26 se muestra dicha comparación:

Tabla 26

Comparación entre el calor de combustión del aceite y biodiesel de durazno obtenido por maceración y soxhlet

Tipo de extracción	Calor de combustión kJ/Kg	
	Aceite	Biodiesel
Soxhlet	39,315	39,472
Maceración	39,592	39,568

El calor de combustión obtenido tanto en el aceite como en el biodiesel por maceración y soxhlet presentaron una diferencia energética poco significativa. Por otra parte, la diferencia entre el calor generado del biodiesel obtenido por maceración y el obtenido por soxhlet fue de 96 kJ/Kg, lo que muestra que el modo de extracción no impacta en el calor de combustión generado a partir de ellas, lo anterior es debido a que se trata de la misma muestra y por tanto ambas presentan una composición muy similar de esteres metílicos de ácidos grasos. Finalmente el biodiesel de durazno obtenido por maceración cumplió con la norma ASTM D240 que establece un valor de 39,500 kJ/Kg como mínimo para que un biodiesel pueda ser utilizado en motores de combustión interna, en cuanto al biodiesel obtenido por soxhlet a pesar de no haber llegado al valor mínimo establecido, éste no se encontró alejado de la especificación, por lo cual también podría considerarse apto para su uso en motores.

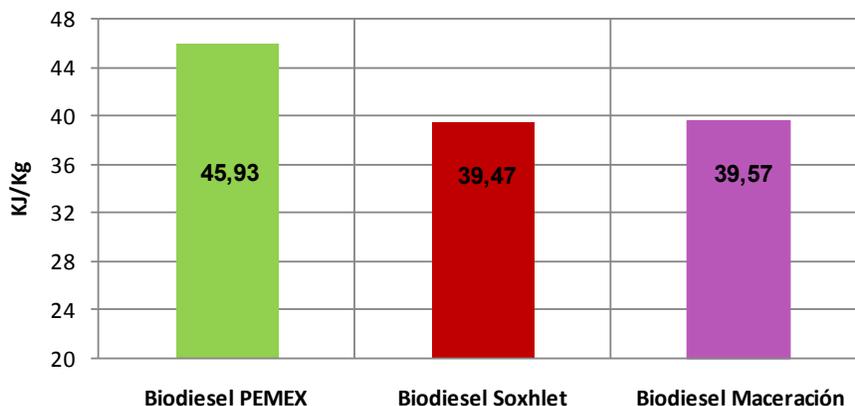
7.10. Mezclas de diesel con biodiesel obtenido a partir de desechos de durazno

Una de las ventajas más importantes del biodiesel es su miscibilidad con el diesel petroquímico, lo que permite realizar mezclas entre ellos en cualquier proporción (Benjumea P, et al., 2008). Las mezclas de biodiesel a partir de 2 % al 20 % se pueden utilizar en la mayoría de los motores sin que estos sufran modificaciones, sin embargo debido a las diferencias en la naturaleza química del biodiesel y diesel (mezcla de éster de alquilo saturados de cadena larga y ácidos grasos insaturados), las mezclas diesel/biodiesel obtenidas presentan modificaciones en sus propiedades básicas, tales como viscosidad, densidad, punto de niebla, entre otros. Generalmente la simbología para representar a las mezclas de biodiesel/ diesel es mediante la abreviatura BXDX, donde X presenta el porcentaje de biodiesel o diesel utilizado. Las mezclas realizadas pueden presentar modificaciones, por ello que es importante conocer las propiedades de las mismas, en especial aquellas que están incluidas en las normas internacionales y que mantienen rangos establecidos para su uso en motores. Tanto el calor de combustión, la viscosidad y la densidad son tres de las propiedades físicas más importantes que afectan al uso del biodiesel como combustible, además de que presentan especificaciones en la normatividad internacional.

7.11. Determinación del calor de combustión de las mezclas de biodiesel de durazno con diesel (PEMEX)

Una de las limitaciones que el biodiesel presenta es que el calor generado a partir de su combustión (calor de combustión) es menor que el obtenido por el diesel, por ésta razón, la

cantidad requerida de biodiesel para igualar el calor generado por el diesel aumenta, lo que concluye en un aumento de materia prima y por tanto costos en la producción. En la Gráfica 10 se muestra la comparación entre el calor de combustión generado a partir del biodiesel de durazno y el diesel de la empresa PEMEX.



Gráfica 10: Calor de combustión del biodiesel de durazno y del diesel (PEMEX)

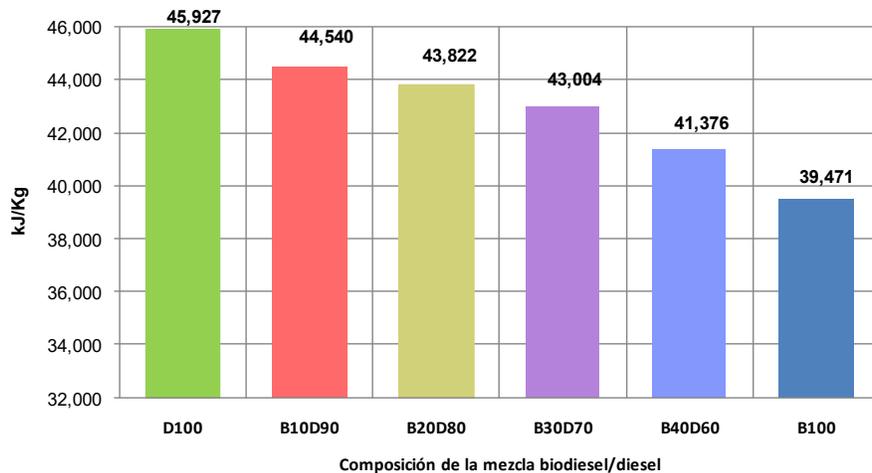
A pesar de que el calor de combustión generado por el biodiesel de durazno cumple con las especificaciones establecidas en la norma ASTM D240 (calor de combustión mayor a 39,500 KJ/Kg), el calor generado representa sólo el 85 % del calor obtenido por el diesel, de modo que, para generar un calor de combustión igual al obtenido por el diesel, se tendrían que emplear cerca de 1.16 Kg de biodiesel de durazno (obtenido tanto por Soxhlet como por maceración). Por lo anterior, y aprovechando la miscibilidad del diesel con biodiesel, se realizaron cuatro mezclas de biodiesel obtenido a partir de desechos de durazno tanto de la extracción por maceración como de la extracción por soxhlet con el biodiesel de la empresa PEMEX con las siguientes proporciones: B10D90, B20D80, B30D70 Y B40D60, determinando el calor de combustión a cada una de ellas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 27:

Tabla 27

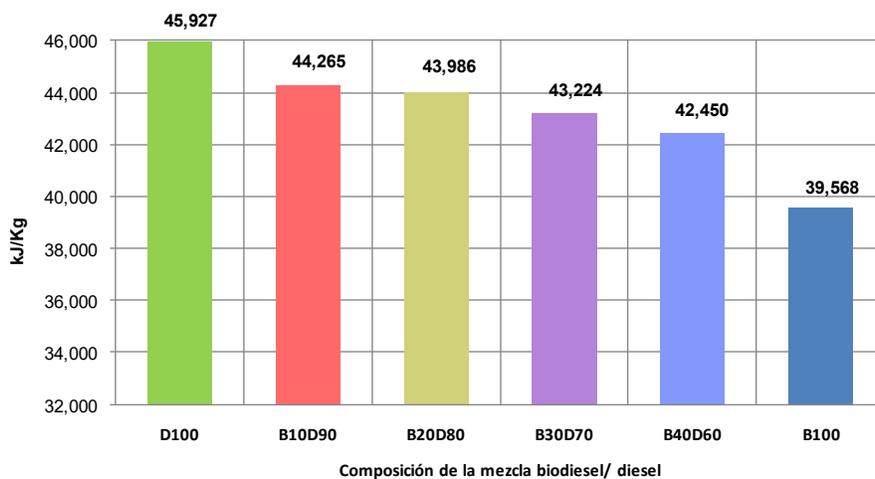
Calor de combustión de mezclas de biodiesel de durazno y diesel

MEZCLA	CALOR DE COMBUSTIÓN (kJ/ Kg)	
	Soxhlet	Maceración
B10D90	44,540	44,265
B20D80	43,822	43,987
B30D70	43,005	43,224
B40D60	41,377	42,450

Mediante la gráfica 11 y 12 se muestra de manera visual la diferencia entre el calor de combustión generado a partir de las cuatro mezclas diesel/ biodiesel con el diesel y el biodiesel puro.



Gráfica 11: Calor de combustión de mezclas de biodiesel de durazno (soxhlet) / diesel



Gráfica 12: Calor de combustión de mezclas de biodiesel de durazno (Maceración) /diesel

Los resultados mostraron que el calor de combustión del diesel disminuye conforme aumenta el porcentaje de biodiesel en la mezcla, sin embargo, tomando en cuenta el calor producido por el diesel (45,927 kJ/Kg) como el 100 % de rendimiento, la mezcla B10D90 alcanzaría un 96 %, la B20D80 un 95 %, la mezcla B30D70 un 93 % y finalmente la mezcla B40D60 un 90 %, un aumento muy favorable en comparación con el porcentaje que se obtendría si sólo se utilizara biodiesel de durazno (85 %). Debido a que la normatividad sólo toma en cuenta mezclas B5D95 Y B20D80, el rendimiento en cuanto a energía obtenida con mezclas de biodiesel de durazno/diesel alcanzarían entre un 97 % y un 95 %. Con ello no sólo se daría mayor sustentabilidad al aprovechamiento del biodiesel (debido a una menor cantidad de biodiesel requerida, menor materia prima y menor costo de producción) sino que también existiría un reflejo en la disminución de los gases de efecto invernadero, tales como CO₂ y SO₂, esto debido a que la cantidad quemada de combustible fósil se vería disminuida. Por otra parte el biodiesel obtenido por maceración generó mayor calor que el

obtenido por soxhlet, a pesar de lo anterior, la diferencia entre el calor de combustión generado no se considera significativo, ya que la diferencia de calor varía entre 0.02 y 3.074 kJ/ Kg.

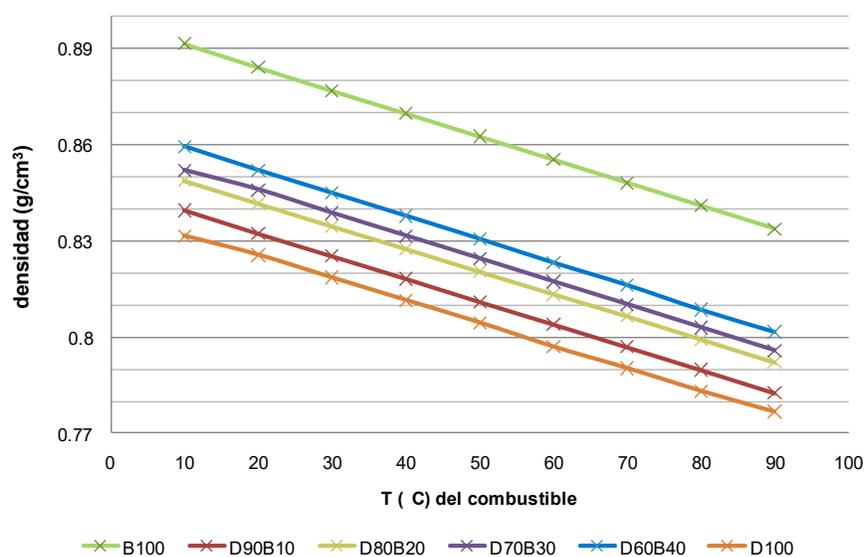
7.12. Densidad, viscosidad dinámica y viscosidad cinemática de las mezclas de biodiesel de durazno con diesel (PEMEX)

7.12.1. Densidad

La densidad se puede definir como la masa de un objeto dividida entre su volumen. La densidad de las mezclas de biodiesel de durazno/ diesel se realizaron utilizando un viscosímetro de la empresa Anton Paar. Las temperaturas a las cuales se determinó la densidad variaron desde 10°C hasta 90°C. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 28 y las Gráficas 13 y 14.

Tabla 28
Densidad de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (soxhlet) a diferentes temperaturas

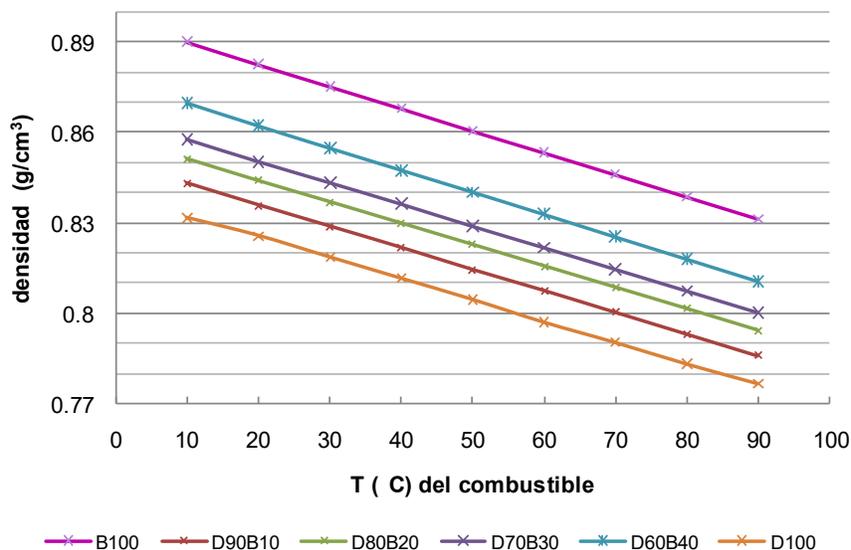
Temperatura (°C)	Composición de la mezcla					
	B100	D90B10	D80B20	D70B30	D60B40	D100
	Densidad (g/mL)					
10	0.8901	0.843	0.8512	0.8577	0.8698	0.8315
20	0.8826	0.8358	0.8439	0.8503	0.8622	0.8256
30	0.8753	0.8288	0.8369	0.8433	0.8548	0.8185
40	0.8680	0.8218	0.8298	0.8362	0.8475	0.8115
50	0.8605	0.8145	0.8227	0.8288	0.8402	0.8045
60	0.8533	0.8076	0.8156	0.8217	0.8328	0.7970
70	0.8460	0.8004	0.8085	0.8145	0.8253	0.7903
80	0.8386	0.7932	0.8014	0.8073	0.8179	0.7832
90	0.8313	0.7860	0.7942	0.8001	0.8105	0.7767



Gráfica 13: Densidad de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción Soxhlet a diferentes temperaturas

Tabla 29
Densidad de las mezclas de diesel petroquímico/ biodiesel de durazno (maceración) a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Composición de la mezcla					
	B100	D90B10	D80B20	D70B30	D60B40	D100
	Densidad (g/ mL)					
10	0.8915	0.8395	0.8487	0.8519	0.8594	0.8315
20	0.8841	0.8322	0.8416	0.8459	0.8520	0.8256
30	0.8768	0.8252	0.8345	0.8386	0.8449	0.8185
40	0.8697	0.8182	0.8275	0.8315	0.8378	0.8115
50	0.8625	0.8110	0.8204	0.8244	0.8306	0.8045
60	0.8553	0.8040	0.8134	0.8172	0.8232	0.7970
70	0.8481	0.7969	0.8065	0.8101	0.8162	0.7903
80	0.8409	0.7898	0.7993	0.8029	0.8085	0.7832
90	0.8337	0.7826	0.7921	0.7957	0.8016	0.7767


Gráfica 14: Densidad de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción maceración a diferentes temperaturas

La norma internacional EN 14214 establece que el valor de la densidad del biocombustible puro debe encontrarse en un rango de 0.860 g/mL a 0.900 g/ mL a una temperatura de 15°C, el valor obtenido para el biodiesel de durazno por maceración a 20°C fue de 0.8841 g/mL y de 0.8915 a 10°C, mientras que el obtenido por soxhlet fue de 0.8826 g/mL a 20°C y de 0.8901 g/mL a 10°C, tomando en cuenta que el valor obtenido (tanto para maceración como para Soxhlet) a 15°C se debe hallar entre los valores de densidad obtenidos entre 10 y 20°C, el biodiesel de durazno cumple con la especificación establecida en la normatividad internacional. Por su parte, las densidades de las mezclas de biodiesel obtenido por maceración y diesel variaron desde 0.782 g/ mL a 0.8594 g/ mL, mientras que las densidades de las mezclas de biodiesel obtenido por soxhlet y

diesel se encontraron en un rango de 0.780 g/mL a 0.8698 g/ mL. A pesar de que los valores obtenidos en ambas resultaron muy similares, las mezclas en donde se utilizó el biodiesel de durazno por maceración presentaron densidades más bajas.

Las densidades de las mezclas obtenidas tanto por maceración como por soxhlet presentaron relaciones lineales, en ambos casos un aumento de 10°C representa una disminución de alrededor de 0.01g/mL en la densidad. La densidad de las mezclas diesel/ biodiesel de durazno aumentan conforme aumenta el porcentaje de biodiesel en las mezclas, sin embargo ninguna de ellas presenta valores similares a la densidad obtenida en el biodiesel puro, lo que indica que el uso de mezclas de diesel/ biodiesel favorece a la obtención de densidades más bajas. Un combustible de menor densidad ayuda a mantener una menor viscosidad del combustible, lo que tiene una influencia en la eficiencia de la atomización del combustible y por tanto una mejor combustión del mismo, disminuyendo así las emisiones producidas. Finalmente el incremento en la temperatura del combustible induce a que la densidad disminuya en el biodiesel obtenido del aceite de durazno (tanto por extracción soxhlet como por maceración) y diesel puro, como en sus respectivas mezclas. Lo anterior es debido a que el aumento de la temperatura ocasiona un incremento en la velocidad de movimiento de las moléculas, lo que se traduce en un aumento de la energía cinética, lo anterior deriva en una disminución del peso molecular por unidad de volumen, es decir un decremento en la densidad.

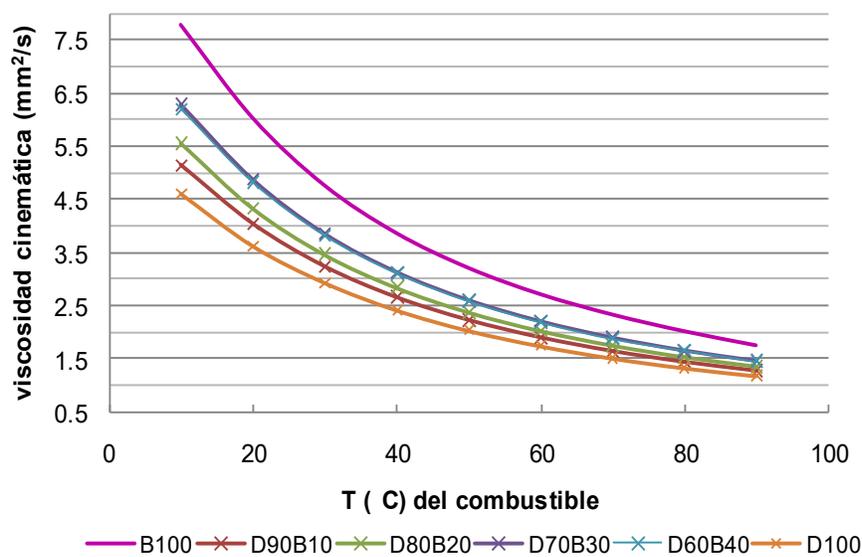
7.12.2. Viscosidad dinámica y cinemática

La Viscosidad se define como la resistencia de un fluido al flujo. En los líquidos reales existen fuerzas de cohesión y adherencia entre éste y las paredes del recipiente que lo contiene, ello provoca que al desplazarse unas partículas respecto de otras se rija una fricción. El coeficiente de fricción interna del fluido se denomina viscosidad dinámica. Por su parte la Viscosidad cinemática es obtenida al dividir la viscosidad dinámica entre su densidad obtenidas a la misma temperatura.

Experimentalmente se determinó tanto la viscosidad cinemática como la viscosidad dinámica de las mezclas de biodiesel de durazno/ diesel (soxhlet y maceración) utilizando un viscosímetro de la empresa Anton Paar. Las temperaturas a las cuales se determinó la viscosidad variaron desde 10°C hasta 90°C. Los resultados obtenidos se resumen de la Tabla 30 a la 33 y de las Gráficas 15 a la 18.

Tabla 30
Viscosidad cinemática de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (soxhlet) a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Composición de la mezcla					
	B100	D90B10	D80B20	D70B30	D60B40	D100
	Viscosidad cinemática (mm²/s)					
10	7.7679	5.1369	5.5588	6.2851	6.1995	4.6066
20	6.0186	4.0362	4.3317	4.8736	4.8155	3.6233
30	4.7502	3.2338	3.4588	3.8512	3.8172	2.9327
40	3.8537	2.6567	2.8374	3.1294	3.1102	2.4181
50	3.2001	2.2306	2.3763	2.6026	2.5862	2.0335
60	2.7058	1.9044	2.0276	2.2049	2.1897	1.7437
70	2.3235	1.6488	1.7545	1.8965	1.8780	1.5140
80	2.0101	1.4452	1.5366	1.6537	1.6583	1.3309
90	1.7445	1.2805	1.3601	1.4586	1.4543	1.1825

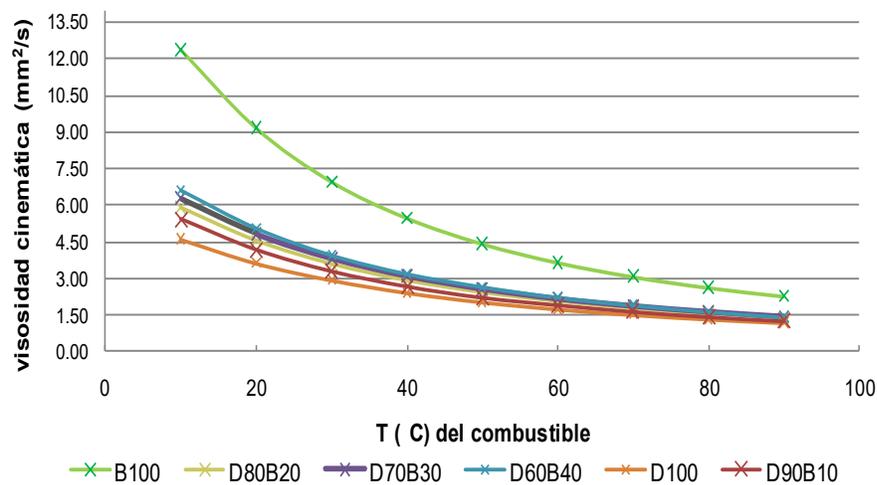


Gráfica 15: Viscosidad cinemática de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción soxhlet a diferentes temperaturas

Tabla 31

Viscosidad cinemática de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (maceración) a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Composición de la mezcla					
	B100	D90B10	D80B20	D70B30	D60B40	D100
	Viscosidad cinemática (mm²/s)					
10	12.371	5.4329	5.9092	6.2925	6.6058	4.6066
20	9.1633	4.1821	4.5439	4.8273	5.0536	3.6233
30	6.9674	3.3023	3.5824	3.8242	3.9514	2.9327
40	5.4791	2.6803	2.8963	3.0966	3.1873	2.4181
50	4.4248	2.2246	2.4014	2.5659	2.655	2.0335
60	3.6553	1.9194	2.0319	2.1618	2.2223	1.7437
70	3.0747	1.6518	1.7495	1.8613	1.9061	1.514
80	2.6273	1.4365	1.5245	1.6189	1.6377	1.3309
90	2.2745	1.2656	1.3486	1.4199	1.4134	1.1825

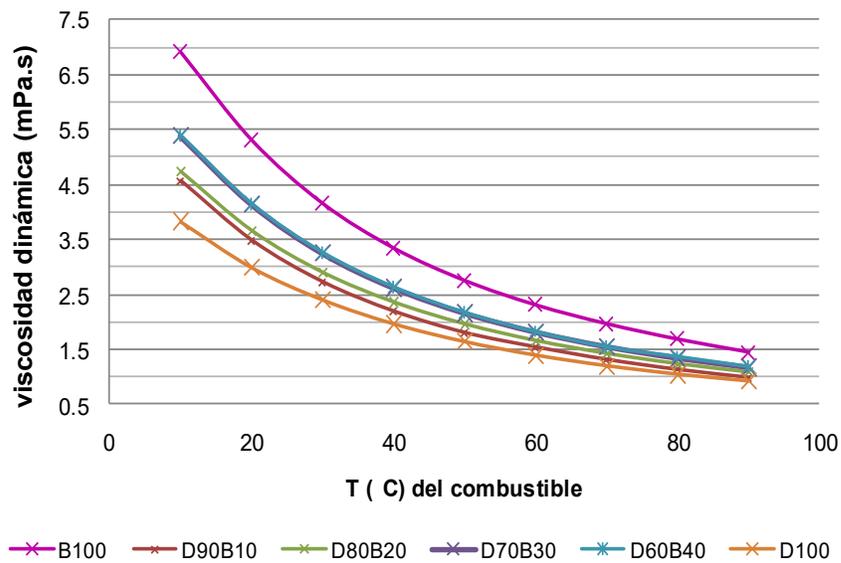


Gráfica 16: Viscosidad cinemática de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción por maceración a diferentes temperaturas

Tabla 32

Viscosidad dinámica de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (soxhlet) a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Composición de la mezcla					
	B100	D90B10	D80B20	D70B30	D60B40	D100
	Viscosidad dinámica (mPa.s)					
10	6.9144	4.3305	4.7316	5.3905	5.3923	3.8305
20	5.3119	3.3737	3.6556	4.1442	4.1519	2.9915
30	4.1577	2.6803	2.8945	3.2475	3.2631	2.4005
40	3.3449	2.1833	2.3544	2.6167	2.6359	1.9624
50	2.7536	1.8168	1.9551	2.1571	2.1729	1.6376
60	2.309	1.5379	1.6538	1.8117	1.8235	1.3905
70	1.9658	1.3197	1.4186	1.5446	1.55	1.1966
80	1.6857	1.1463	1.2315	1.335	1.3696	1.0424
90	1.4503	1.0064	1.0801	1.167	1.1898	0.91769

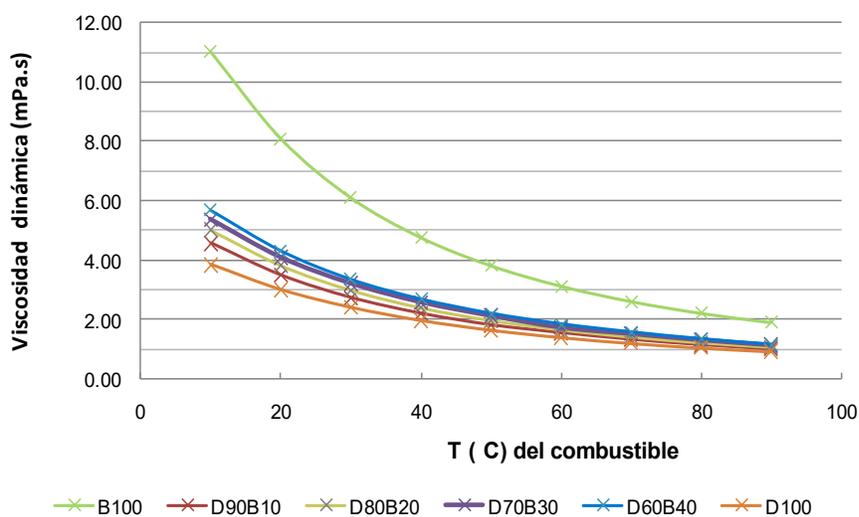


Gráfica 17: Viscosidad dinámica de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción por soxhlet a diferentes temperaturas

Tabla 33

Viscosidad dinámica de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno (maceración) a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Composición de la mezcla					
	B100	D90B10	D80B20	D70B30	D60B40	D100
	Viscosidad dinámica (mPa.s)					
10	11.029	4.5607	5.0155	5.3604	5.678	3.8305
20	8.1011	3.4805	3.824	4.0832	4.3058	2.9915
30	6.1093	2.725	2.9895	3.207	3.3385	2.4005
40	4.7649	2.1929	2.3967	2.5748	2.6702	1.9624
50	3.8163	1.8044	1.9702	2.1152	2.1885	1.6376
60	3.1265	1.5432	1.6528	1.7225	1.8293	1.3905
70	2.6076	1.3163	1.411	1.5077	1.5557	1.1966
80	2.2093	1.1345	1.2185	1.2997	1.3241	1.0424
90	1.8963	0.9905	1.0683	1.1298	1.1329	0.91769



Gráfica 18: Viscosidad dinámica de las mezclas de diesel / biodiesel de durazno extracción por maceración a diferentes temperaturas

La viscosidad es una de las propiedades físicas más importantes consideradas para el empleo del biodiesel como combustible debido a su efecto en el rendimiento del motor. Muchas de las delimitaciones para su uso en motores se deben a la alta viscosidad que presentan en comparación con el diesel y su comportamiento al variar la temperatura, una alta viscosidad puede causar presiones de inyección de combustible excesivo para el calentamiento del motor y formación de gotas más grandes durante la pulverización, mismos que pueden dar lugar a una combustión incompleta, desgaste de la bomba de combustible, asfixia de los inyectores, etc. La viscosidad dinámica de las mezclas obtenidas tanto por maceración como por soxhlet presentó variaciones dependientes de la proporción de la mezcla y de la temperatura ante la cual se realizó

la determinación. Los valores se extendieron de 5.3923 a 6.9144 mPa.s en las mezclas obtenidas por soxhlet y entre 5.678 a 4.5607 mPa.s para las mezclas obtenidas por maceración a 10°C, disminuyendo conforme se aumentaba la proporción de diesel y la temperatura aumentaba. De manera general un aumento de 10°C representa una disminución de entre 0.1399 - 0.2463 mPa.s, para las mezclas obtenidas por Soxhlet, y de entre 0.1440 - 1.3722 mPa.s para las mezclas obtenidas por maceración, de modo que al llegar a los 90°C se obtuvieron valores de viscosidad dinámica de entre 1.1898 a 1.0064 mPa.s para las mezclas por soxhlet y de entre 1.1329 a 0.9905 mPa.s para las mezclas obtenidas por maceración.

De manera visual, el Gráfico 18 muestra la disminución de la viscosidad dinámica (mezclas obtenidas por soxhlet) conforme la temperatura aumenta, observando un traslape de las líneas que representan a las mezclas D60B40 y D7030 desde los 10 hasta los 90°C, teniendo visualmente líneas separadas entre las otras mezclas. Por su parte en el Gráfico 19 (mezclas obtenidas por maceración) el traslape de líneas que representan a las mezclas D60B40 y D70B30 se hace evidente a partir de los 70°C aproximadamente, además y en comparación con las mezclas obtenidas por soxhlet, la separación entre líneas (o el valor entre viscosidad dinámica) es menor, de modo que las líneas son más cercanas entre sí.

Debido a que la viscosidad cinemática se obtiene de dividir la viscosidad dinámica entre la densidad a la misma temperatura, los valores de viscosidad cinemática de las mezclas biodiesel obtenido por maceración o soxhlet y el diesel también variaron dependiendo de la proporción de la mezcla y de la temperatura ante la cual se realizaba la determinación, en general los valores se extendieron desde 6.1995 a 5.1369 mm²/s para las mezclas obtenidas por soxhlet y de 6.5058 a 5.4329 mm²/s para las mezclas obtenidas por maceración a una temperatura de 10°C, disminuyendo a medida que aumentaba la cantidad de diesel en la mezcla y/o la temperatura. Un aumento de 10°C propiciaba el decremento de la viscosidad cinemática entre 0.1647 y 1.4115 mm²/s en las mezclas obtenidas por soxhlet y de 0.1709 a 1.5522 mm²/s en las mezclas obtenidas por maceración, llegando así a valores de entre 1.4543 y 1.2805 mm²/s en las mezclas obtenidas por soxhlet y de entre 1.4134 y 1.2656 mm²/s para las mezclas obtenidas por maceración a 90°C. De este modo las viscosidades cinemáticas más baja se encontraron en las mezclas obtenidas por soxhlet. De acuerdo con la norma internacional ASTM D7467 la viscosidad cinemática para mezclas que se hallan en una relación de B6 a B20 debe encontrarse entre 1.09 y 4.01 mm²/s a 40°C, tomando en cuenta que en la mezcla D90B10 y la mezcla D80B20 se obtuvieron valores de 2.6567 y 2.8374 mm²/s a 40°C, se asume que las mezclas incluidas entre el intervalo B6 a B20 se incluyan dentro del rango de 2.6567 y 2.8374 mm²/s, cumpliendo así con la especificación internacional.

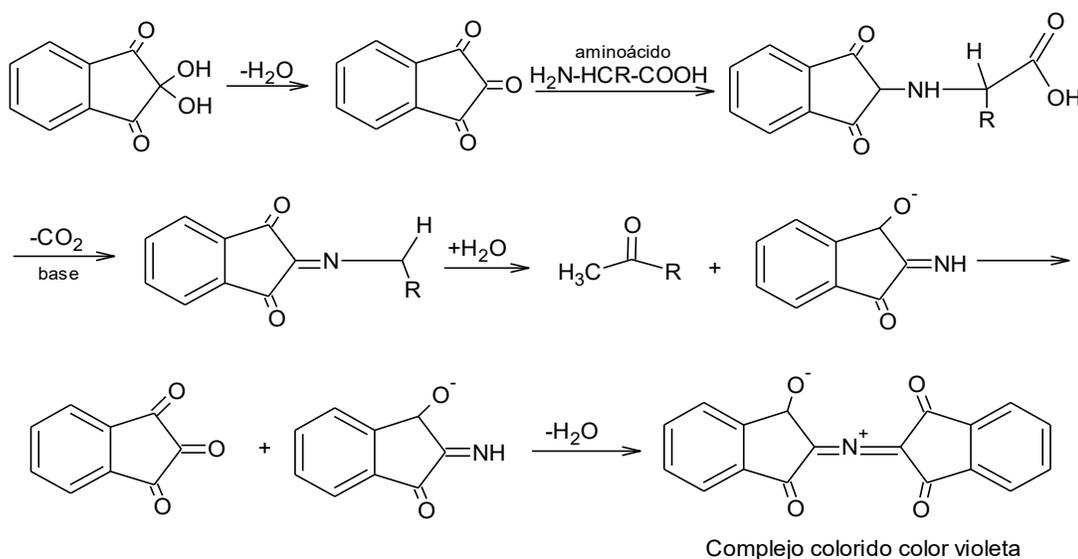
7.13. Detección de Ciclopéptidos

7.13.1. Síntesis de Piperazin- 2,5-diona

Para la detección de ciclopéptidos en el bagazo de la semilla del durazno se procedió a la síntesis de la Piperazin- 2,5-diona, misma que serviría como patrón para conocer si los resultados eran confiables. La síntesis se llevó a cabo como se indicó en el punto 6.5.12.2. Se obtuvieron 0.0063 g del Ciclopéptido sintetizado, lo cual corresponde a un rendimiento del 0.3609 %. El rendimiento bajo deriva de la cantidad de lavados que se realiza para obtener y purificar a la Piperazin- 2,5-diona, ya que gran cantidad de producto se pierde en cada uno de ellos. Por otra parte las cantidades mezcladas pretendían obtener 1.7 g del Ciclopéptido, por lo cual el tamaño del material bajo el cual se realizó la síntesis influyó también en la pérdida del producto. Para corroborar que el producto sintetizado correspondía al Ciclopéptido Piperazin- 2,5-diona, se realizaron tres pruebas:

La primera consistió en determinar el punto de fusión del producto obtenido. El punto de fusión reportado para la Piperazin- 2,5-diona es de 300°C, el obtenido fue de 310-312°C. Debido a la similitud de puntos de fusión la primera prueba se consideró satisfactoria.

La segunda prueba consistió en la detección de aminoácidos por medio de la Ninhidrina. La Ninhidrina es un agente fuertemente oxidante, que al reaccionar con cualquier alfa aminoácido (aminoácido en el que el grupo amino está unido al carbono adyacente al grupo carboxílico) produce una coloración violeta. La presencia de éste color violeta se debe a la formación de un complejo colorido. La reacción se muestra en el Esquema 11:



Esquema 11: Reacción de la Ninhidrina con un aminoácido

Una muestra de Piperazin- 2,5-diona sintetizada fue aplicada a una placa cromatográfica de capa delgada, en la misma placa se aplicaron también un estándar de Piperazin- 2,5-diona y finalmente un aminoácido, en este caso la glicina. La placa se eluyó en una mezcla de cloroformo /metanol / agua (5:4:1 v/v/v), posterior a ello se dejó secar y con ayuda de un rociador se aplicó la disolución de Ninhidrina, finalmente la placa fue secada con aire caliente. Los resultados se muestran en la Imagen 7:

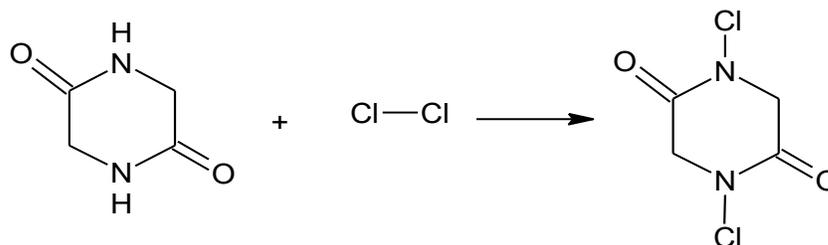


Imagen 7: Detección de aminoácidos con Ninhidrina

Debido a que la Piperazin- 2,5-diona no presenta grupos amino libres, la reacción para la formación del complejo colorido no se logra ni en el estándar ni en la muestra sintetizada, no presentan colocación. Por su parte la glicina al tener un grupo amino libre, éste reacciona con la Ninhidrina forman el complejo purpura. Debido a los resultados obtenidos, la segunda prueba también se consideró satisfactoria.

Finalmente la tercera prueba consistió en la detección de ciclopéptidos por medio de dos reacciones:

1. La N-cloración de la amida del ciclopéptido: La reacción está dada por el mecanismo presentado en el Esquema 12 :



Esquema 12: Reacción de N-cloración del ciclopéptidos

2. La detección del cloro unido al Ciclopéptido por medio de la σ -tolidina

La detección de ciclopéptidos se realiza mediante la formación de un complejo colorido azul producido por el cloro y la σ -tolidina. Para la detección de ciclopéptidos se procedió a aplicar sobre una placa preparativa de capa delgada dos muestras: La Piperazin- 2,5-diona sintetizada y la glicina. La placa fue eluida en una mezcla de cloroformo/metanol/agua (5:4:1 v/v/v), posteriormente se dejó secar. Una vez seca, la placa fue introducida en una cámara que contenía hipoclorito de sodio, y que se encargaba de producir una atmosfera de cloro, la placa se dejó reaccionar por 5 minutos, tras lo cual se dejó evaporar el cloro en exceso a temperatura ambiente por aproximadamente 6 horas. Posteriormente la placa se rocío con σ -tolidina y se secó con aire caliente. La Imagen 8 muestra el resultado obtenido.

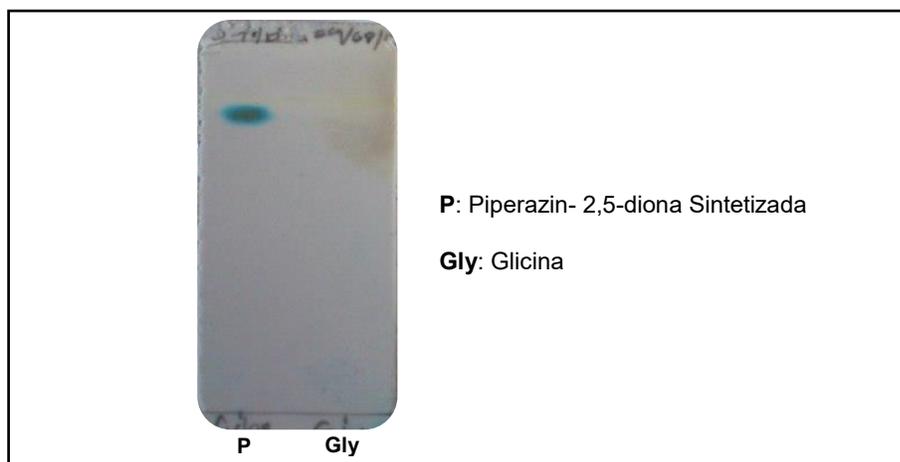


Imagen 8. Detección de ciclopéptidos con σ -tolidina

Debido a que la glicina es un aminoácido que no contiene grupos amida, la reacción de N-cloración no puede llevarse a cabo, por lo que el cloro nunca es retenido por la glicina, de modo que al dejar secar la placa preparativa, el cloro se evapora por completo. Al aplicar la σ -tolidina no hay formación de complejo, por lo que el color azul característico no se hace presente. Por otra parte debido a que la Piperazin- 2,5-diona sintetizada contiene grupos amida que reaccionan con el cloro, la reacción de N-cloración puede llevarse a cabo, de modo que el cloro es retenido por el Ciclopéptido, al aplicar la σ -tolidina sucede lo contrario que con la glicina, ya que la σ -tolidina reacciona con el cloro retenido produciendo el complejo colorido azul. Debido a los fundamentos ya establecidos en los puntos anteriores, la tercera prueba también se consideró satisfactoria.

7.13.2. Detección de péptidos y Ciclopéptidos

Toda vez que se comprobó que el producto obtenido correspondía con la Piperazin- 2,5-diona, se procedió a realizar la detección de aminoácidos y ciclopéptidos en las diferentes particiones obtenidas del bagazo del durazno. Para la detección se utilizaron como referencia 5 diferentes aminoácidos (glicina, cisteína, valina, ácido Aspártico y metionina), los cuales fueron aplicados a una placa cromatográfica para posteriormente realizar el tratamiento para detección de aminoácidos por medio de Ninhidrina, todo ello con la finalidad de corroborar que éstos mostraban la formación del complejo colorido color violeta. El resultado se muestra en la Imagen 9:

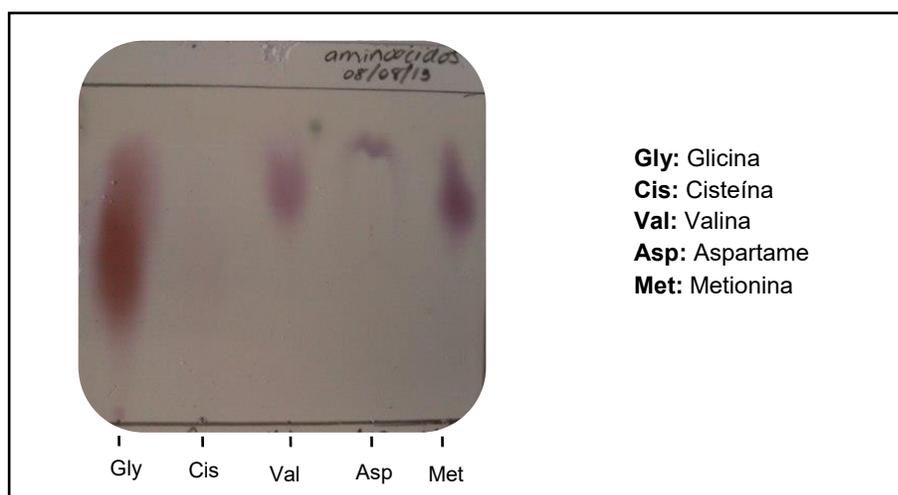


Imagen 9: Detección de aminoácidos conocidos con Ninhidrina

Debido a que la cisteína y el aspartame mostraron resultados poco visibles se aplicaron en placas cromatográficas separadas, obteniendo los resultados mostrados en la Imagen 10:

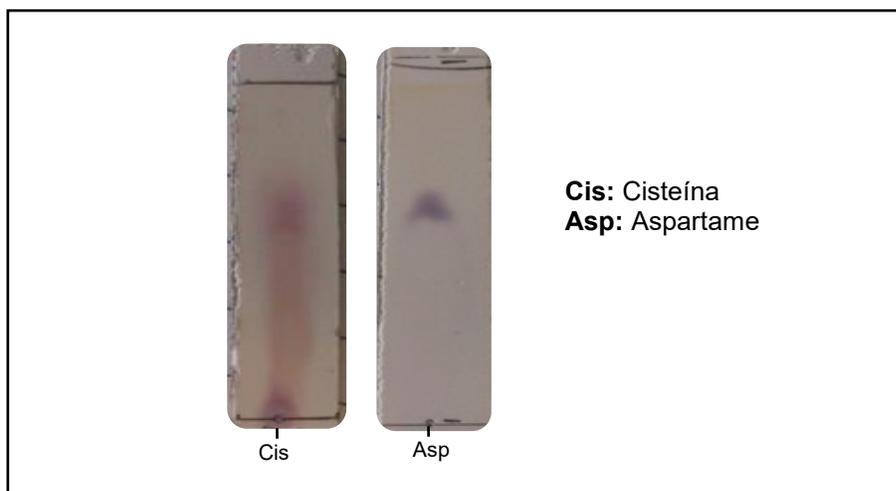


Imagen 10: Detección de cisteína y aspartame con Ninhidrina

Como puede observarse en las Imágenes 9 y 10, todos los aminoácidos utilizados reaccionaron con la ninhidrina produciendo el color púrpura. Una vez realizado lo anterior se procedió a la detección de aminoácidos en las particiones obtenidas del bagazo. Las particiones fueron realizadas como se indicó en el punto 6.5.12.1. En una placa cromatográfica de capa delgada se aplicó una pequeña muestra de cada una de las particiones obtenidas. La placa se corrió en una mezcla de cloroformo/metanol/agua (5:4:1 v/v/v) y se continuó con el proceso para la detección de aminoácidos con ninhidrina. Los resultados obtenidos se muestran en la Imagen 11:

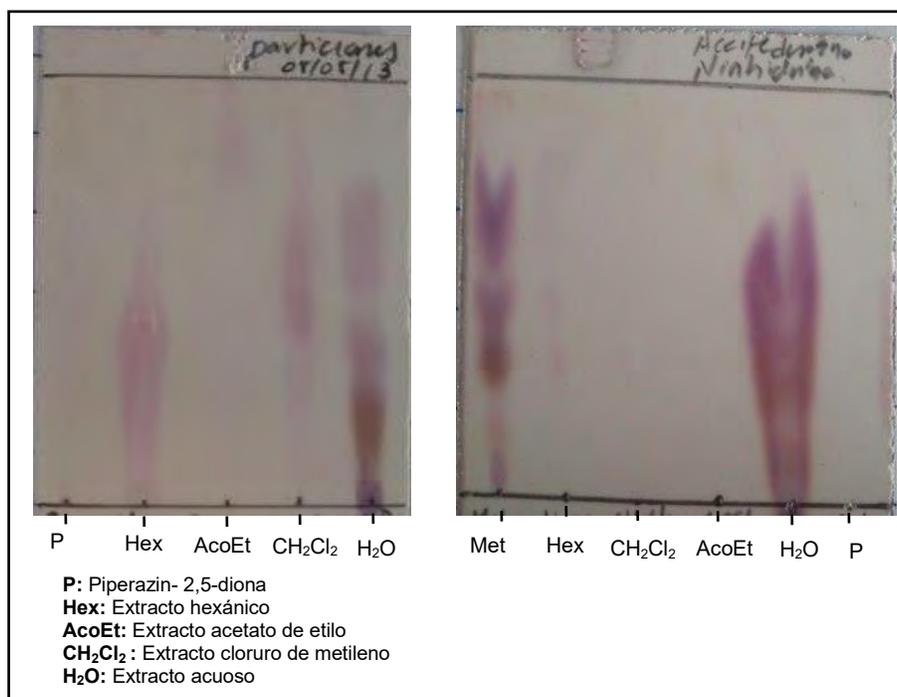


Imagen 11: Detección de aminoácidos en las particiones del bagazo del durazno

Las particiones que mostraron mayor reacción con la ninhidrina para la detección de aminoácidos fueron la del extracto hexánico, extracto metanólico, extracto de cloruro de metileno y extracto acuoso. La partición de acetato de etilo mostró resultados poco visibles. Por otra parte en cada una de las placas eluidas, además de las particiones, también se colocaba una muestra del Ciclopéptido (Piperazin- 2,5-diona) sintetizado a modo de asegurar que éste no reaccionaba con la ninhidrina ni presentaba coloración. Como puede verse en la Imagen 11, en ninguna de ellas el Ciclopéptido mostró coloración.

Finalmente se realizó la detección de ciclopéptidos en las particiones obtenidas. En una placa cromatográfica de capa delgada se aplicó una muestra de las particiones del extracto hexánico, metanólico, acetato de etilo, cloruro de metileno y acuoso, además se aplicó también a la

Piperazin- 2,5-diona sintetizada, que antes ya había sido expuesta a reacción con σ -tolidina. Los resultados se muestran en la Imagen 12:

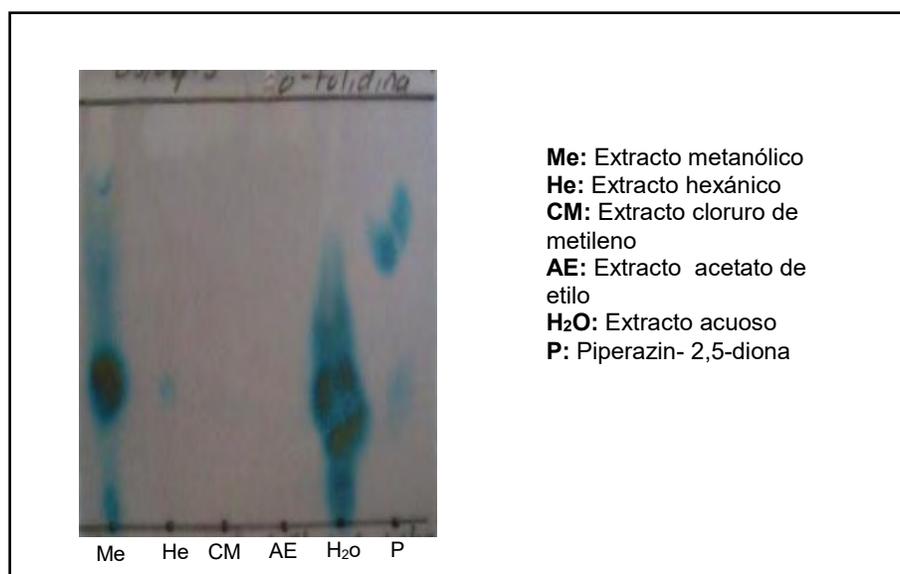


Imagen 12: Detección de aminoácidos en el bagazo del durazno

Las particiones del extracto metanólico y extracto acuoso presentaron reacción con la σ -tolidina, en las otras particiones no se visualizó reacción y por tanto tampoco coloración. La Piperazin- 2,5-diona sintetizada también presentó coloración al ser revelada. La intensidad del color mostrada en la foto es símbolo de la cantidad de ciclopéptidos presentes en ambas particiones. El aislamiento e identificación de los ciclopéptidos ya no fueron objetivos de la investigación realizada, sin embargo son temas de importancia, debido a la cantidad de beneficios que estos ofrecen, ya que muchos de ellos presentan propiedades como antitumorales, antibióticos e incluso inhibidores de ciertas enzimas. Aunado a lo anterior, se debe recordar que la presente investigación parte de desechos orgánicos, que suelen ser juzgados como inservibles, pero que en realidad pueden representar un camino de beneficios a la sociedad.

7.14. Método de Folan (Reactivo de Folín-Ciocalteu): Determinación de fenoles totales.

7.14.1. Curva estándar de Fenoles

Debido a la cantidad de fenoles que el ácido gálico presenta en su estructura, fue utilizado para la preparación de una curva estándar. La curva fue realizada como se describió en el punto 6.5.13.1.2.

Las concentraciones finales y absorbancias obtenidas se presentan en la Tabla 34, mientras que la curva se presenta en el gráfico 19.

Tabla 34

Datos de la curva estándar de ácido gálico

Concentración (µg/mL)	1.25	2.5	3.75	5.00	6.25	7.5	8.75	10
Absorbancia	0.041	0.081	0.145	0.234	0.274	0.338	0.397	0.462

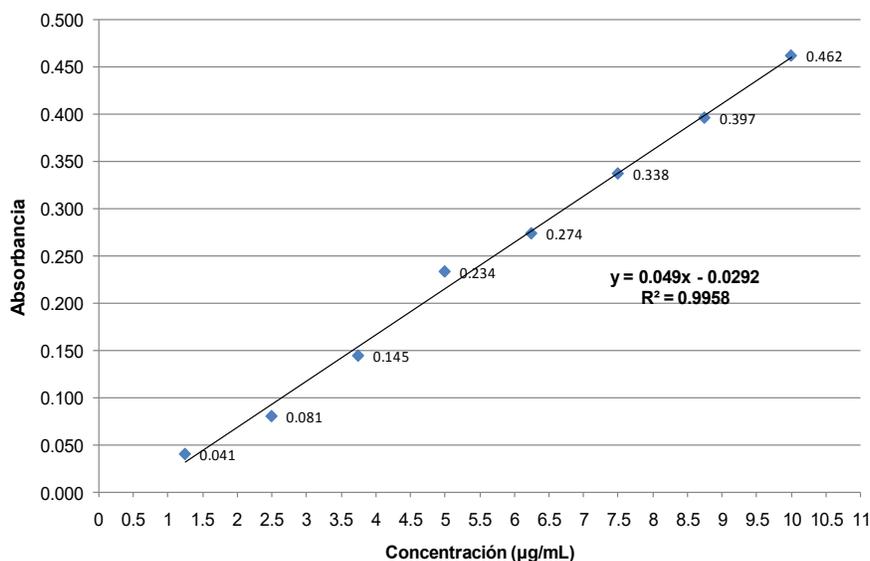
La recta mostró una pendiente de 0.049 y una ordenada al origen de 0.0292 con un coeficiente de correlación de 0.9958, por lo que, para determinar la concentración de las muestras (por interpolación en la recta), la ecuación empleada fue la siguiente:

$$Y = 0.049x - 0.0292$$

En donde

Y: Absorbancia obtenida

X: Concentración en µg/mL



Gráfica 19: Curva estándar de fenoles (ácido gálico)

7.14.2. Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales se realizó por el método de Folan, utilizando el reactivo de Folan-Ciocalteu, que es una disolución que contiene ácido fosfomolibdico y ácido fosfowolfrámico, que oxidan a los compuestos polifenólicos a fenolatos en medio alcalino formando un complejo de molibdeno-tungsteno de color azul. La determinación de fenoles totales se realizó del bagazo obtenido de la partición de hexano. El tratamiento de la muestra se realizó como se indicó en el punto 6.5.13.1.1. Se obtuvieron 312.8 mg del extracto madre, del cual se tomaron 80.20 mg y se aforaron a 50 mL (disolución 1) con una mezcla agua: acetona (50:50 v/v). De la disolución 1 se tomaron 25 µL y se procedió con la preparación de la microplaca como se indicó en el punto 6.5.13.1.3. La lectura de la muestra del durazno fue realizada por triplicado, las absorbancias fueron tomadas después de 1 hora y mediante la ecuación de la recta de la curva de fenoles ($Y =$

0.049x -0.0292) se obtuvieron las concentraciones correspondientes a las absorbancias obtenidas de la muestra de durazno. Las absorbancias y concentraciones se recopilan en la Tabla 35:

Tabla 35
Absorbancias muestra de durazno

Absorbancia	0.356	0.355	0.362
Concentración $\mu\text{g/mL}$ de fenoles GAE (equivalentes a ácido gálico)	7.854	7.834	7.976

El promedio de las tres concentraciones resulta en 7.888 $\mu\text{g/mL}$ de fenoles. A partir de este resultado y tomando en cuenta las diluciones realizadas se calculó la concentración de fenoles totales contenidos en los 312.8 mg de extracto madre obtenidos de los 7.007 g de bagazo de durazno. El análisis de datos se explica a continuación:

1. Se obtiene la cantidad de fenoles contenidos en los 80.20 mg de extracto que fueron aforados a 50 mL, y de los cuales se tomaron 25 μL y se aforaron a 200 μL .

$$0.007884 \frac{\text{mg}}{\text{mL}} \text{ de fenoles } \left(\frac{0.2 \text{ mL}}{0.025 \text{ mL}} \right) (50 \text{ mL}) = 3.1536 \text{ mg de fenoles}$$

En 80.20 mg del extracto hay 3.1536 mg de fenoles GAE.

2. Se obtiene la cantidad de fenoles en un gramo de extracto:

$$\text{Cantidad de fenoles en 1 g de extracto} = \frac{3.1536 \text{ mg de fenoles (1 g de extracto)}}{80.20 \text{ mg de extracto}}$$

$$= 39.321 \text{ mg de fenoles GAE / g de extracto}$$

3. Se obtiene la cantidad que hay en el total del extracto madre obtenido, es decir en los 312.8 mg de extracto.

$$\text{Cantidad de fenoles en 312.8 mg de extracto} = \frac{3.1536 \text{ mg de fenoles (312.8 mg extracto)}}{80.20 \text{ mg de extracto}}$$

$$= 12.299 \text{ mg de fenoles GAE en 312.8 mg de extracto}$$

4. Finalmente se obtiene la cantidad de fenoles en los 7.007 g de bagazo y de los cuales se obtuvieron los 312.8 mg de extracto:

$$\text{Cantidad de fenoles en 1 g de bagazo de durazno} = \frac{12.299 \text{ mg de fenoles (1 g de bagazo)}}{7.007 \text{ g de bagazo}}$$

$$= 1.755 \text{ mg EAG g}_{\text{bs}}^{-1}$$

En la literatura se han reportado estudios acerca de la cantidad de fenoles totales contenidos en pulpa, liofilizados o inclusive cáscaras de frutos, el extracto del que parten difiere dependiendo de cada estudio, en la mayoría de los casos se ha realizado del extracto acuoso, sin embargo no se ha encontrado la determinación en bagazo de frutas expuestas a previos tratamientos, tal como se realizó en la presente investigación. En la Tabla 36 se muestra un resumen de algunos de los

resultados extraídos de diferentes referencias a modo de comparar la cantidad de fenoles totales reportada, cabe señalar que en todos ellos se utilizó el método de Folín-Ciocalteu.

Tabla 36*Comparación del contenido de fenoles totales en diferentes frutos*

Fruto	Partición utilizada	Parte de la fruta	mg EAG g ⁻¹ _{bs}
Naranja agria*	Acuosa	Cáscara	78.4
Toronja*			113.8
Mandarina*			59.2
Ciruelo (<i>Prunus domestica</i>)* ¹	Acuosa	Liofilizado	7.32
Capulín (<i>Prunus serotina</i>)* ¹			3.16 – 8.18
Uva* ²	NA	pulpa	1.170
Guayaba * ²			0.83
Piña * ²			0.217

Nota: *Tomado de Escobar, M. (2010)

¹ Tomado de Villa de la Torre, F.A. (2008). Se presenta rango de contenido de fenoles ya que en el estudio de analizaron muestras de capulín de diferentes estados de México

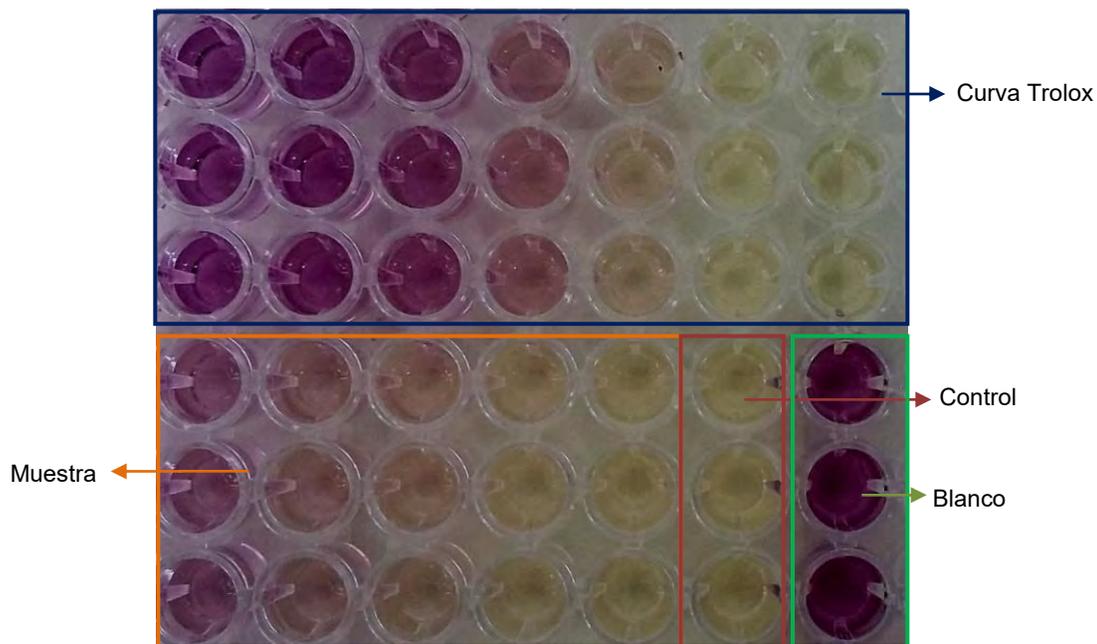
² Kuskoski, M., Asuero, A.G., Troncoso, A.M., Mancini-Filho, J., Fett, R. (2005)

Como puede apreciarse en la Tabla 36, las cantidades obtenidas de fenoles totales (expresada en mg EAG g⁻¹_{bs}) en los frutos, es mayor en comparación con la cantidad obtenida en el bagazo semilla de durazno, lo cual es atribuible a que a éste ya se le habían realizados otros tratamientos (extracción con hexano para la obtención de aceite), además, de que la partición y la parte de la fruta de la cual proceden (cáscara, pulpa, liofilizado) es diferente. Por lo anterior no se considera rentable la obtención de fenoles a partir del bagazo de semilla de durazno, ya que la inversión de tiempo, materiales, personal, entre otros sería mucho mayor en comparación con la cantidad de fenoles a obtener en la muestra.

7.15. Determinación de la capacidad antioxidante: Método de DPPH

La determinación de la capacidad antioxidante se realizó al bagazo obtenido de la partición de hexano. Del total de la muestra de durazno (312.8 mg), 8.20 mg fueron destinados a la prueba de fenoles totales, mientras que el resto (232.6 mg) se tomaron para realizar la determinación de la capacidad antioxidante.

El tratamiento de la muestra se realizó por triplicado como se indicó en el punto 6.13. Las muestras fueron colocadas en la microplaca de acuerdo al siguiente Esquema:



Esquema 13: Acomodo de las muestras en la microplaca para determinación de capacidad antioxidante

La programación del equipo se realizó de acuerdo en lo indicado en el punto 6.5.13, siguiendo una cinética de 30 minutos haciendo lecturas cada minuto.

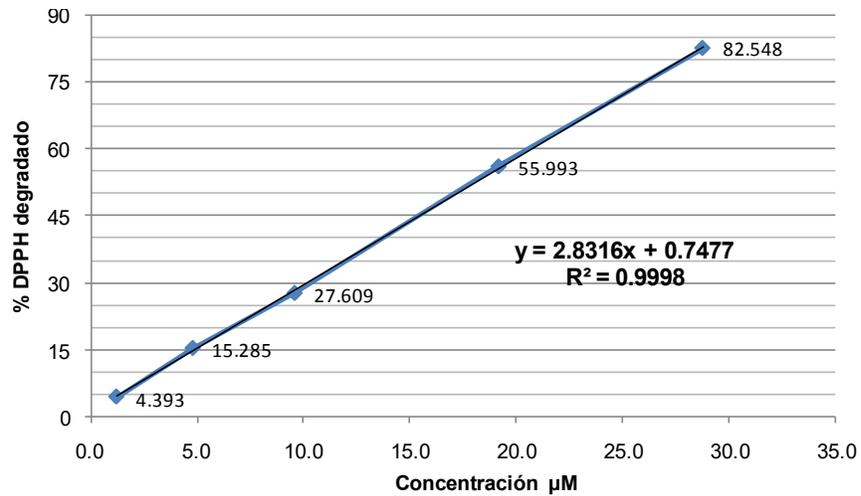
Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 37:

Tabla 37

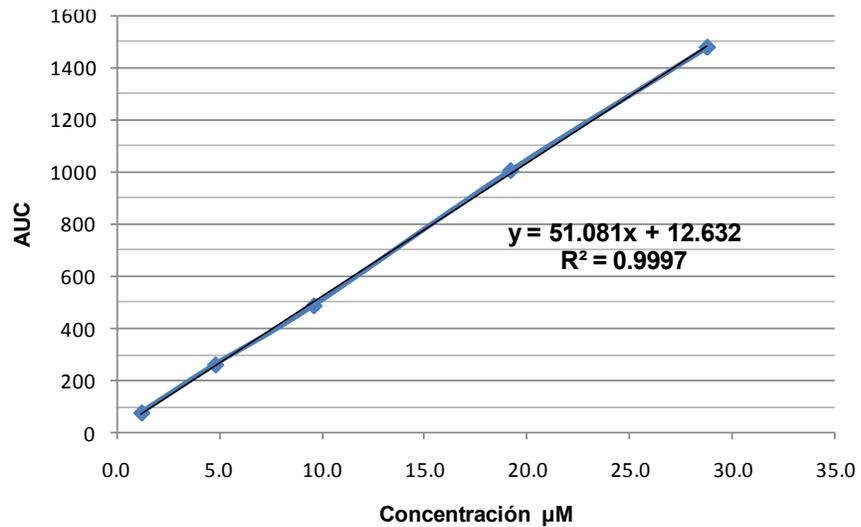
Relación entre la concentración de Trolox y el porcentaje de DPPH degradado

C FINAL (μM)	%DPPH degradado	AUC
1.199	4.470	112.677
4.794	14.251	377.014
9.589	27.561	707.137
19.178	55.863	1452.909
28.767	82.642	2138.630

La relación entre el % degradado de DPPH y el ABC con la concentración utilizada de Trolox se muestra en las Gráficas 20 y 21.



Gráfica 20: Curva del porcentaje degradado de DPPH en relación a la concentración utilizada de Trolox



Gráfica 21: Curva del área bajo la curva del porcentaje de DPPH degradado en relación a la concentración utilizada de Trolox

De acuerdo a la ecuación de la recta, con una concentración de 17.39 μM se reduce el 50 % de DPPH, y un 50 % de DPPH degradado presenta un ABC (área bajo la curva) de 1303.728.

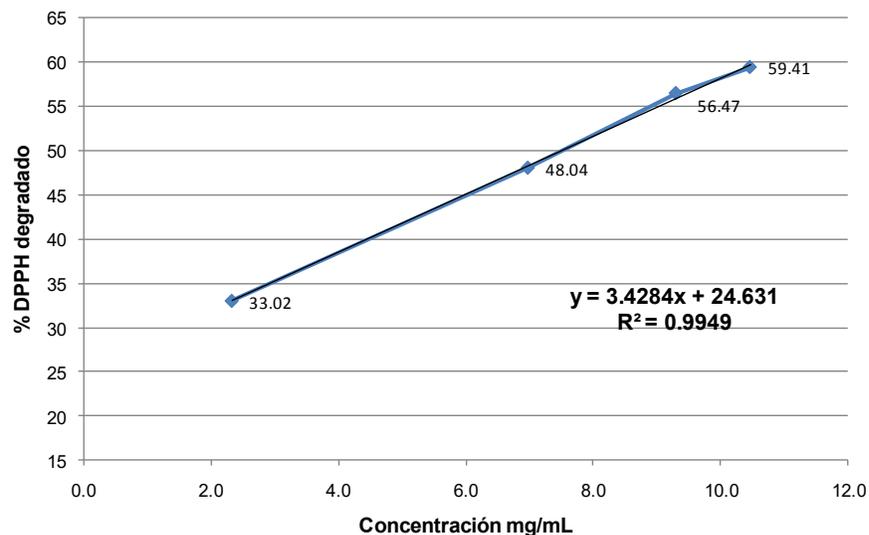
En cuanto a la muestra de bagazo de durazno, los resultados se muestran en la tabla 38:

Tabla 38

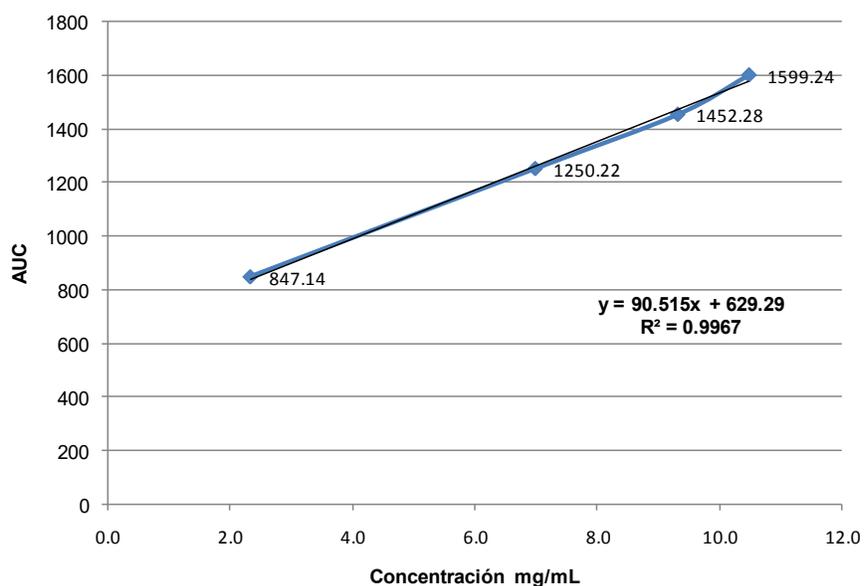
Relación entre la concentración de Trolox y el porcentaje de DPPH degradado en el bagazo de durazno

C FINAL (mg/mL)	% DPPH degradado	AUC
2.326	36.57	658.41
6.978	54.10	962.27
9.304	64.91	1118.12
11.630	72.67	1338.73

La relación entre el % degradado de DPPH y el ABC con la concentración utilizada la muestra de durazno se visualiza en las Gráficas 22 y 23.



Gráfica 22: Curva del porcentaje degradado de DPPH en relación a la concentración utilizada de la muestra de bagazo de durazno



Gráfica 23: Curva del área bajo la curva del porcentaje de DPPH degradado en relación a la concentración utilizada de Trolox

De acuerdo a la ecuación de la recta, con una concentración de 7.40 mg/ mL se reduce el 50 % de DPPH. El RDSC (capacidad relativa secuestrante) obtenido es de 1.627 $\mu\text{mol ET} / \text{g}$ muestra. Al igual que en el caso de la determinación de fenoles totales, en la literatura no se han reportado estudios en los cuales se hayan tratado muestras obtenidas de desechos orgánicos. En la Tabla 39 se muestra el RDSC de algunos frutos, tomando en cuenta que el análisis fue realizado a la pulpa de dichos frutos:

Tabla 39
Capacidad relativa secuestrante de diversos frutos

Fruto	Parte del fruto	TEAC 30 minutos ($\mu\text{mol TE/g}$ peso muestra)
Mora	Pulpa	4.3
Uva		7.0
Guayaba		4.2
Fresa		9.2
Piña		0.5
Mango		12.9

Nota: Tomado de Kuskoski, M., Asuero, A.G., Troncoso, A.M., Mancini-Filho, J., Fett, R. (2005)

Comparando la cantidad obtenida en la muestra de bagazo de almendra de durazno, se observa que ésta es mucho menor a la cantidad que se obtiene de la pulpa de los frutos, lo cual es atribuible a la fuente de la cual proviene la muestra (pulpa o bagazo), a las condiciones de temperatura y humedad a las cuales se expusieron las muestras, y a que en el caso del bagazo de durazno, la muestra ya había sido utilizada para la extracción de biodiesel.

8. CONCLUSIONES

- Con base en el análisis físico realizado al hueso y semillas del durazno, se tiene que la semilla representa el 9 % del peso total del hueso, porcentaje que se considera bajo, tomando en cuenta que esta es la fuente de la materia prima para obtener al biodiesel. A pesar de lo anterior, el rendimiento de aceite obtenido de las semillas varió de entre 39.4 % a 46.06 % (dependiendo del tipo de extracción). La extracción del aceite por soxhlet presentó mayor rendimiento en comparación con la extracción por maceración, teniendo una diferencia de 6.66 %, a pesar de lo anterior se considera que la extracción por maceración es más rentable, debido a que los costos para la obtención de aceite utilizando éste método son menores en comparación con los requeridos por el método soxhlet.
- El aceite obtenido de desechos de durazno presenta las ventajas de cumplir con las especificaciones establecidas en la Norma internacional EN 14214 de: índice de yodo, calor de combustión, viscosidad dinámica, viscosidad cinemática y densidad, sin embargo presentó la desventaja de no cumplir con el índice de acidez e índice de saponificación, ya que los análisis realizados arrojaron datos fuera del rango de especificación, por lo cual el aceite debe ser sometido a un pretratamiento (esterificación ácida) para disminuir el índice de acidez y posteriormente realizar la reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel. El hecho de realizar una transesterificación ácida como pretratamiento se considera una desventaja del uso de aceite, ya que representa una inversión de dinero y tiempo, además de que el rendimiento obtenido se ve afectado.
- Para realizar la transesterificación básica del aceite de durazno es necesario someterlo previamente a esterificación ácida, con la finalidad de disminuir su índice de acidez. Se observó que el uso de metanol anhidro y ácido sulfúrico en relación 1:36 en la esterificación ácida, permiten disminuir el índice de acidez hasta en un 25 %.
- Se realizaron mezclas de biodiesel / diesel observándose que el calor de combustión generado por cada mezcla, aumenta conforme disminuye el porcentaje de biodiesel, presentando hasta un 90 % de rendimiento en cuanto a calor de combustión generado por la mezcla B40D60 y hasta un 96 % de rendimiento en una mezcla B10D90 en comparación con el calor de combustión obtenido con diesel puro (D100).
- La densidad y viscosidad obtenida en las mezclas de biodiesel de durazno/diesel disminuye conforme aumenta el porcentaje de diesel, éste mismo efecto se tiene cuando se aumenta la temperatura a la cual se está realizando la determinación de dichas pruebas. Ambas pruebas cumplen con las especificaciones establecidas en la norma internacional ASTM D7467.
- Por medio de la reacción con σ -tolidina se demostró que la partición acuosa y metanólica de las extracciones realizadas al bagazo de durazno contienen ciclopéptidos; los cuales podrían ser de interés en otras investigaciones, debido a las cualidades que éstos presentan.

- Mediante el método de Folan- Ciocalteu se determinó que la cantidad de fenoles totales contenidos por gramo de base seca de bagazo de durazno es de $1.755 \text{ mg EAG g}_{\text{bs}}^{-1}$, una cantidad que resulta muy baja en comparación con los resultados obtenidos en la pulpa de frutos como la naranja, toronja, mandarina y capulín. Cabe señalar que el hecho de que se cuantificara una cantidad baja de fenoles totales se atribuye a que el bagazo no puede compararse con la muestra de pulpa de frutas ya que la integridad de las muestras varió por las condiciones ambientales (temperatura y humedad) a las cuales fue expuesta cada muestra y a la naturaleza de las mismas, considerando además que la partición de la cual provenía cada muestra era diferente. Así mismo mediante el método de DPPH se logró determinar la capacidad relativa secuestrante (RDSC) en el bagazo de durazno ($1.627 \mu\text{mol TE / g muestra}$), la cual al igual que la cantidad de fenoles totales, resultó menor en comparación a la RDSC obtenida en pulpa de frutos como la uva, mango, fresa y mora, lo cual fue atribuible también a la naturaleza de cada muestra, las condiciones ambientales a las cuales fue expuesta y a que la muestra ya había sido utilizada para otros tratamientos (obtención de aceite por extracción con hexano).
- El uso del aceite obtenido de desechos de durazno se considera una opción conveniente para la obtención de biocombustible así como su uso en mezclas diesel/biodiesel, ya que ambos cumplen con las especificaciones establecidas de índice de acidez, índice de yodo, índice de saponificación, calor de combustión, viscosidad y densidad. Aunado a lo anterior, el bagazo de la semilla de durazno puede ser utilizado como una fuente para la obtención de ciclopéptidos. No se considera una opción rentable en cuanto a costo económico, puesto que para obtener biocombustible del aceite, este debe ser pretratado mediante una esterificación ácida, lo cual conduce a una mayor inversión de tiempo, equipo y personal, además de que dicha reacción, provoca una disminución del rendimiento final de biocombustible obtenido.

9. PROPUESTAS Y/O RECOMENDACIONES

- Se propone realizar la cuantificación y caracterización de los ciclopéptidos contenidos en el bagazo del durazno, con la finalidad de conocer si éstos son de interés para futuras investigaciones.
- Realizar la extracción del aceite de durazno por otros métodos, tales como la vía enzimática, con la finalidad de comparar el costo-beneficio, con los resultados obtenidos en la presente investigación, en la cual se utilizó la extracción por maceración y por soxhlet.
- Realizar un análisis del biodiesel y de las mezclas biodiesel de durazno/ diesel, cubriendo la totalidad de las pruebas incluidas en normas internacionales (ASTM D6751, EN 14214, ASTM D7467), con la finalidad de conocer el porcentaje de cumplimiento que ambos presenta y con ello establecer qué tan apropiado puede ser el uso de éste biocombustible en motores de combustión interna.
- Concientizar a la sociedad acerca del uso de fuentes de energía renovables para la obtención de energía, haciendo énfasis en los problemas ambientales que causa el uso de combustibles fósiles y energía no renovable.

10. ANEXOS

No aplica

11. BIBLIOGRAFÍA

Alptekin, E., y Canakci, M.,(2008). Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel. *Renewable Energy*, 2623–2630.

Asakuma, Y., Maedaa, K., Kuramochib, H., Fukuia, K. (2009). Theoretical study of the transesterification of triglycerides to biodiesel fuel. *Fuel*, 786-791.

Camps, M. y Marcos, M.(2008). *Los biocombustibles*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.

Castells, E. X. (2012). *Biomasa y bioenergía*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.

Chai, M., Tu, Q., Yang, J., Lu, M.(2014). Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 106-113.

Chen, L., Xing, L., Han, L. (2009). Renewable energy from agro-residues in China. *Solid biofuels and biomass briquetting technology*, 2689–2695.

Demirbas, A. (2008). Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. *Fuel*, 1743–1748.

Demirbas, A. (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied Energy*, S108–S117.

Demirbas, F., Balat, M., Balat, H. (2011). Biowastes-to-biofuels. *Energy Conversion and Management*, 1815–1828.

Dhingra, N., Sharma, R., Kar, A. (2014). Towards further understanding on the antioxidative activities of Prunus, 582–587.

Dornburg, V., Dam, J., Faaij, A. (2007). Estimating GHG emission mitigation supply curves of large-scale biomass use on a country level. *Biomass and Energy*, 45-65.

Escobar, M. (2010). Extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de cítricos producidos en México. (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.

FAOSTAT. (2014).Recuperado de <http://faostat.fao.org>

Food and Agriculture Organization of the United Nations.(2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

Gil, A., Ruíz, M.D. (2010). *Tratado de Nutrición. Composición y calidad nutritiva de los alimentos*. Madrid: Panamericana.

Glasnovic, Z., Margeta, J. (2011). Vision of total renewable electricity scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1873–1884.

González, J.(2009). Energías renovables. España. Reverté.

- Han, S., Bong, K., Yoon, M., Lee, C. (2013). Experimental investigation and Prediction of density and viscosity of GTL, GTL-Biodiesel, and GTL-Diesel blends as a function of temperature. *Energy and Fuels*, 56-65.
- Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143-169.
- Hua-Ning, T., Zhou, J. (2006). Plan Cyclopeptides. *Chemical Reviews*.
- IICA. (2007). Preguntas y respuestas más frecuentes sobre los biocombustibles. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- INECC. (2010). Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf>
- Jan, C.J., Palmeri, N., Cavallaro, S. Sustainability and use of biodiesel. (2010). *Biodiesel Science and Technology*, 625-712
- Jain, S. y Sharma, M. (2010). Kinetics of acid base catalyzed transesterification of *Jatropha curcas* oil. *Bioresource Technology*, 7701-7706.
- Karavalakis, G. (2011). Storage stability ageing effect of biodiesel blends treated with different antioxidants. *Energy*, 36.
- Kuskoski, M., Asuero, A.G., Troncoso, A.M., Mancini-Filho, J., Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology*.
- Lin, J., Gaustad, G., Trabold, T. (2013). Profit and policy implications of producing biodiesel-ethanol-diesel fuel. *Applied Energy*, 936-944.
- Manzano, F., Alcayde, A., Montoya, F.G., Zapata, A., Gil, C. (2013). Scientific production of renewable energies worldwide: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Martínez, G., Sánchez, N., Encinar, J., Gonzáles, F. (2014). Fuel properties of biodiesel from vegetable oils and. *Biomass and Bioenergy*, 22 -32.
- Mezzomo, N., Mileo, B., Martínez, J., Ferreira, S. (2010). Supercritical fluid extraction of peach (*Prunus persica*) almond oil: Process yield. *Bioresource Technology*, 5622-5632.
- Mieres-Pitre, A., Santangelo, G., y González, C. (2005). Refinación del aceite crudo de durazno (*prunus persica*) y su caracterización. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química, Venezuela.
- Mohon, M., Wang, W., Alawi, M. (2014). Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel. *Energy Conversion and Management*, 164-173.
- Nakatani, N., Kayano, S., Katagari, K., Mitani, T. (2000). Identification, quantitative determination, and antioxidative activities of chlorogenic acid isomers in prune (*Prunus domestica* L.). *Food Chem*, 5512-5516.
- Nakayama, M., Koshioka, M., Matsui, H., Ohara, H., Mander, L.N., Leitch, S.K.,...Yokota, T. (2001). Endogenous gibberellins in immature seeds of *Prunus persica* L.: identification of GA₁₁₈, GA₁₁₉, GA₁₂₀, GA₁₂₁, GA₁₂₂ and GA₁₂₆. *Phytochemistry*, 749-758.

- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Pullen, J. y Saeed, K. (2010). An overview of biodiesel oxidation stability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5924–5950.
- Pullen, J. y Saeed, K. (2014). Experimental study of the factors affecting the oxidation stability of. *Fuel Processing Technology*, 223–235.
- Ramadhas, A. y Jayaraj, S. (2005). Muraleedharan C. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*, 335–340.
- Ramírez, L., García, B., Rodríguez, J. (2011). Prediction of the density and viscosity in biodiesel blends at various temperatures. *Fuel*, 1751–1761.
- Red Mexicana de Bioenergía A.C. (2011). La bioenergía en México, Situación actual y perspectivas México: Cifor.
- Roy, M. y Wang, W. (2014). Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel–diesel, biodiesel–diesel-additive and kerosene–biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 84.
- Reyes- Trejo, B., Guerra – Ramírez, D., Zuleta- Prada, H., Axayácatl, J., Reyes-Tejo, A. (2014). Annona diversifolia seed oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production. *Industrial Crops and Products*, 400-404.
- Sahoo, P., Das, L., Babu, M., Naik, S.(2007). Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine. *Fuel*, 448-454.
- Saidur, R., Abdelaziz, E., Demirbas, A., Hossain, M., Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2262–2289.
- Sharma, Y.C., Singh, B., Upadhyay, S.N. (2008). Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *Fuel*, 2355-2373.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Recuperado de <http://www.siap.gob.mx/durazno>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. (2005). Perspectiva de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil Buenos Aires: Buenos Aires. IICA.
- Secretaría de Economía. (2017). Seguimiento precio del petróleo mezcla mexicana (MME). Recuperado de <http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/energeticos/mezcla-mexicana.html>
- Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales.(2013). Informes del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 – 2010. Recuperado de <http://www.inecc.gob.mx/cpcc-lineas/1165-inem-1990-2010>
- Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales.(2013). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1994 – 1998.
- Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales.(2013) Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero con Cifras de 1990. Recuperado de <http://www.inecc.gob.mx/cpcc-lineas/638-cpcc-inventario-1>
- Secretaría de Salud. (2009). Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos.

- SENER. Balance Nacional de Energía. (2011). Secretaría de Energía.
- SENER. Próspectiva del mercado del Petróleo crudo 2008-2017. (2008). Secretaría de Energía.
- SENER. Prospektiva del mercado de Petróleo Crudo 2010-2025. (2011). Secretaría de Energía.
- SENER. Prospektiva del mercado de Petróleo Crudo 2012-2026. (2012). Secretaría de Energía.
- SENER.(2010).Prospektiva del petróleo crudo 2012-2026. Recuperado de http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PPCI_2012_2026.pdf.
- SENER. (2013). Estadísticas destacadas del sector energético, junio 2013. Recuperado de http://www.sener.gob.mx/portal/estadisticas_destacadas_del_sector_energetico.html
- SENER. (2016). Prontuario del sector energético, julio 2016. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/documentos/prontuario-del-sector-energetico>
- Vazquez, I., Acevedo, J., Hernández, C. (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2147–2153.
- Villa de la Torre, F.A. (2008). Frutos del capulín (*Prunus serotina*) como fuentes potenciales de compuestos bioactivos. (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Yaakob, Z., Narayanan, B. (2014). A review on the oxidation stability of biodiesel. 136–153.
- Zhou, J. (2000). Application of new TLC chemical method for detection of cyclopeptide in plant. *Chinese Science Bulletin*, 1825-1831.