

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL

SEK

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Maestría en Diseño Industrial y Procesos

Caracterización de las mezclas de aceite de semillas de maracuyá y pepa de aguacate

como material cambio de fase

Edison Fernando García Narvárez

Nota del autor

Edison Fernando García Narvárez, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas,
Universidad Internacional SEK.

Director PhD. Javier Martínez Gómez

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

efgarcia.mdin@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, EDISON FERNANDO GARCIA NARVAEZ, con cédula de identidad 1710367713, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



EDISON FERNANDO GARCIA NARVAEZ
C.I.: 1710367713

Índice de contenido

Declaración Juramentada	2
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción	11
<i>Planteamiento del problema</i>	<i>15</i>
<i>Justificación</i>	<i>17</i>
<i>Hipótesis</i>	<i>18</i>
Estado del Arte.....	19
<i>Sistemas de almacenamiento térmico.....</i>	<i>19</i>
<i>Tipos de Almacenamiento de Energía Térmica.....</i>	<i>19</i>
Calor Sensible.....	20
Calor Latente.....	20
Termoquímico.....	20
<i>Material Cambio de Fase.....</i>	<i>21</i>
<i>Propiedades de los PCM</i>	<i>21</i>
<i>Clasificación de los PCM</i>	<i>22</i>
PCM Inorgánicos	23
PCM Orgánicos.....	23
Ácidos Grasos.....	24

<i>Temperaturas de trabajo en los Sistemas de Almacenamiento Térmico</i>	25
<i>Propiedades Térmicas de PCM de Ácidos Grasos más Comunes</i>	28
<i>Composición de los Ácidos Grasos presentes en la Pepa de Aguacate y Pepa de Maracuyá</i>	30
<i>Campos de Aplicación de los PCM</i>	31
Textiles	31
Otros Usos.....	32
Logística	32
<i>Empleo de los PCM en las Energías Renovables</i>	33
<i>Caracterización de Materiales</i>	33
<i>Métodos de Caracterización</i>	33
<i>Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)</i>	34
<i>Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier</i>	35
<i>Termogravimetría</i>	37
METODOLOGIA	38
MATERIA PRIMA	38
PREPARACION DEL EXTRACTO	39
MEZCLADO DE MUESTRAS.....	39
ANALISIS DE LAS MUESTRAS.....	40
Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier.....	40
Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	40
Termogravimetría (TGA)	41
RESULTADOS	41
<i>Calorimetría Diferencial de Barrido</i>	42
ANALISIS FTIR.....	47

<i>ANALISIS TGA</i>	54
Discusión de Resultados	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFIA	65

Índice de figuras

Figura 1	19
Figura 2	22
Figura 3	34
Figura 4	35
Figura 5	36
Figura 6	36
Figura 7	37
Figura 8	38
Figura 9	42
Figura 10	43
Figura 11	43
Figura 12	44
Figura 13	44
Figura 14	48
Figura 15	49
Figura 16	50
Figura 17	51
Figura 18	52
Figura 19	54
Figura 20	55

Figura 21	55
Figura 22	56
Figura 23	56
Figura 24	57
Figura 25	57
Figura 26	58
Figura 27	58
Figura 28	59

Índice de tablas

Tabla 1	21
Tabla 2	28
Tabla 3	30
Tabla 4	45
Tabla 5	46
Tabla 6	46
Tabla 7	48
Tabla 8	50
Tabla 9	51
Tabla 10	52
Tabla 11	53
Tabla 12	59

Resumen

Las semillas de maracuyá como la pepa de aguacate son considerados desechos orgánicos de las industrias, al darle una utilidad como aceite y encontrar una aplicabilidad lo hace sostenible y atractivo al mercado nacional ya que son productos autóctonos. El aceite de semillas de maracuyá como de aguacate han presentado perfiles en sus ácidos grasos que los hacen atractivos para ser catalogado como un material cambio de fase, con base a lo expuesto anteriormente esta investigación busca caracterizar un nuevo material cambio de fase a partir de desechos orgánicos para darle una aplicación y aprovechar su utilidad. El presente trabajo de investigación en una primera etapa realizará la obtención de los aceites de las semillas de maracuyá y pepa de aguacate de las que se mezclarán en las proporciones establecidas y se procederá a la caracterización de los aceites por medio de la Calorimetría Diferencial de Barrido, Espectrometría Infrarroja y Termogravimetría para determinar sus propiedades y catalogarlo como un material de cambio de fase. Los resultados mostraron que los candidatos a material cambio de fase por sus entalpías altas son las muestras 100% aceite de aguacate con entalpía de fusión de 73,96 J/g, temperatura de fusión de $-23,69^{\circ}\text{C}$ y 25% aceite de maracuya-75% aceite de aguacate con entalpía de fusión de 40,01J/g, temperatura de fusión de $-39,05^{\circ}\text{C}$ que pueden usarse como almacenamiento térmico a baja temperatura. El aporte tecnológico del presente trabajo de investigación se enfocará que, a partir de materia prima renovable, barata que se considera un residuo o desecho de la industria alimenticia poder aprovechar este residuo para darle un nuevo uso.

Palabras Claves: material cambio de fase, desechos orgánicos, calorimetría diferencial de barrido, espectrometría infrarroja, termogravimetría, cambio de fase, residuo, desecho, ácido graso, entalpía, temperatura de fusión.

Abstract

Passion fruit seeds such as avocado seed are considered organic waste of industries, giving it a utility as oil, and finding an applicability makes it sustainable and attractive to the national market since they are native products. Based on the above, this research seeks to characterize a new phase change materials from organic waste to give it an application and take advantage of its usefulness. The present research work in a first stage will carry out the obtaining of the oils of the passion fruit seeds and avocado seed from which they will be mixed in the established proportions and the oils will be characterized by means of Differential Scanning Calorimetry, Infrared Spectrometry and Thermogravimetry to determine its properties and catalog it as a phase change material. The results showed that the candidates for phase change materials for their high enthalpy are the 100% avocado oil samples with fusion enthalpy of 73.96 J/g, melting temperature of $-23.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 25% passion fruit-75% avocado oil with melting enthalpy of 40.01J/g, melting temperature of -39.05°C that can be used as thermal storage at low temperature. The technological contribution of this research work will focus on that from renewable, cheap raw material that is considered a waste or waste of the food industry to be able to take advantage of this waste to give it a new use.

Keywords: phase change materials, organic waste, differential scanning calorimetry, infrared spectrometry, thermogravimetry, phase change, residue, waste, fatty acid, enthalpy, melting temperature.

Introducción

En los últimos tiempos las actividades de las personas han incidido fuertemente en el ecosistema por el progreso de la ciencia y la tecnología que han permitido una mejor calidad de vida para el hombre permitiendo un aumento del consumo de energía que trae como consecuencia el crecimiento de emisiones de gases a la atmosfera, así tenemos en el sector de la construcción hay un consumo elevado de energía principalmente por la necesidad de calentar y enfriar con el objetivo de suavizar las diferencias de temperatura entre el aire exterior e interior de la edificación trayendo consigo las emisiones de gases de efecto invernadero. Este aumento del consumo de energía impulsa a tomar acciones como el aprovechamiento de las energías renovables y así fomentar el ahorro de energía y la eficiencia energética, en este último se ha implementado la utilización de materiales cambio de fase (PCM, por sus siglas en inglés) como instrumento para el almacenamiento de energía térmica. (Bistue, 2015)

Los materiales cambio de fase son materiales que a la temperatura de cambio de fase poseen un alto calor latente y son capaces de acumular o descargar gran cantidad de energía, por esto se utilizan en el almacenamiento de energía térmica. Este almacenamiento se logra a través de cambios de fase de sólido-sólido, sólido-líquido, sólido-gas y líquido-gas, en la práctica el más utilizado es el de sólido-líquido. (Velez, 2018)

Los materiales cambio de fase se clasifican en orgánicos, inorgánicos y mezclas eutécticas estos presentan ventajas y desventajas que se consideran en el instante de escoger para su aplicación. Los PCM inorgánicos como las sales hidratadas poseen gran cantidad de calor latente, gran conductividad térmica, no son inflamables y frecuentemente son biodegradables; el inconveniente que presentan es que son corrosivos, tienen menos estabilidad térmica, requieren de aditivos por el uso prolongado y exhiben problemas de subenfriamiento. (Benavente, 2018)

Los PCM orgánicos tienen una estructura basada en el carbono, hidrogeno y el oxígeno; en gran parte de los compuestos contienen nitrógeno, fosforo, azufre, boro y alógenos. Son químicamente estables, no sufren subenfriamiento, fáciles de usar, no corrosivos, son reciclables y ecológicamente inocuos, la desventaja que presentan es la baja conductividad térmica, son inflamables, más caros, entalpia y calor latente bajos. Entre los PCM orgánicos podemos mencionar parafinas, ácidos grasos, alcoholes o glicoles. (Ochoa, 2016)

Los ácidos grasos derivados de productos animales y vegetales tienen una larga cadena lineal de más de 12 carbonos que puede ser saturada o insaturada en cuyo extremo hay un ácido carboxílico, estos ácidos tienen mejores propiedades que otros PCM como un alto calor latente de transición y calor específico, tensión superficial muy alta lo que permite ser retenido en la estructura del material huésped, cambios de volumen muy pequeños durante la fusión o solidificación, no se produce subenfriamiento durante la transición de fase. Por el grupo carboxilo que se encuentran conformados estos ácidos grasos son químicamente estables al calor y el color, no tóxicos y no corrosivos. (Rozanna, Salmias, Choong, & Sa'ari, 2006)

Los ácidos grasos no provienen de combustibles fósiles ya que son materiales sostenibles que se pueden obtener de animales y vegetales que se encuentran en la naturaleza catalogados como de base biológica, estos ácidos tienen muchas ventajas como material de almacenamiento de energía térmica como es el caso de utilizar mezclas de ácidos grasos como PCM que pueden mejorar la trabajabilidad de las mezclas de concreto o también mejorar el rendimiento térmico de los hormigones endurecidos. (Cellat, y otros, 2015)

Hay algunos estudios sobre materiales cambio de fase utilizando ácidos grasos como los realizados por Wan, et al. (2019) fabricó un PCM utilizando ácido palmítico y biocarbón

de piña como matriz mediante el método de impregnación al vacío observándose que el compuesto con una relación de masa de 6/4 (ácido palmítico/biocarbón de piña) mostro mejor estabilidad con entalpias de fusión y congelación de 84,74 kJ/kg y 83,81 kJ/kg aumentando su conductividad térmica en un 43,76% en comparación del ácido palmítico puro aplicado para almacenamiento de energía térmica, Wen, et al. (2018) prepararon y estudiaron las propiedades térmicas de un PCM compuesto (ácido cáprico-láurico / diatomita), este material se fabricó mediante el método de impregnación al vacío para ser incorporado en materiales de construcción obteniéndose una buena estabilidad térmica y química durante 200 ciclos de calentamiento y congelación al adicionar grafito expandido se incrementó la conductividad térmica (la adición del 10% fue el más óptimo) usado para almacenamiento de energía térmica en aplicaciones de construcción, Liang, et al. (2018) elaboraron un PCM noble con ácido graso (ácido láurico, ácido mirístico, ácido esteárico y ácido palmítico) y harina de madera preparándose mediante el método de impregnación directa mostrando que del análisis DSC los calores máximos de fusión y congelación alcanzados fueron de 102,6 kJ/kg y 103,5 kJ/kg y que tiene una buena estabilidad con la temperatura de descomposición de hasta 150⁰C, utilizados para almacenamiento de energía en edificios, Cellat, y otros (2015) investigaron la mejora termica de mezclas de hormigon utilizando PCM (mezclas binarias de ácido cáprico-ácido láurico, ácido cáprico-ácido mirístico) observando que conservan sus propiedades térmicas y la capacidad de almacenamiento de energía después de 100 ciclos de operación y que pueden soportar temperaturas de hasta 120⁰C sin descomposición utilizados para el almacenamiento pasivo de energía solar en edificios. (Das, Bordoloi, Muigai, & Kalita , 2020)

Rasta & Suamir (2018) investigó el desarrollo de materiales cambio de fase a base de agua para el almacenamiento de energía en frío utilizando aceite de soja y maíz ricos en ácidos grasos poliinsaturados (candidatos a PCM) y mezclas de agua observando que la

adición de aceites vegetales en 5% y 10% en solución acuosa disminuye la temperatura de congelación de 0°C hasta $-3,5^{\circ}\text{C}$ y $-6,5^{\circ}\text{C}$ respectivamente y minimiza el grado de sobreenfriamiento de los candidatos a PCM. Fabiani, Pisello, Barbanera, & Cabeza (2019) caracteriza un nuevo PCM de base biológica (aceite de palma caducado de la industria alimentaria) que se encuentra disponible en el mercado, mostrándonos del análisis DSC dos picos de fusión en el intervalo de temperatura ambiente con una entalpía total de fusión de aproximadamente 50 kJ/kg similares en magnitud a los primeros PCM desarrollados y según el análisis del ciclo de vida este aceite se puede considerar como un material prometedor para aplicaciones latentes de base biológica (aplicaciones de envolvente de edificios). Reyes (2020) caracteriza al aceite de pepa de aguacate (pepas mezcladas en diferentes proporciones de madurez) mostrándonos del análisis DSC que la pepa 100% madura tuvo una entalpía de fusión mayor de $52,93\text{ kJ/kg}$ entre el intervalo de temperaturas de -25°C y 14°C en comparación con las otras mezclas y después se procede a la simulación con una caja isotérmica con el aceite caracterizado obteniéndose los resultados que sin el PCM la temperatura llega a -8°C y con él es de -12°C después de 7h demostrando que puede ser usado para aplicaciones a baja temperatura.

En el país la barrera para el uso de materiales cambio de fase es la baja producción y su costo alto de importación, pero al incentivar la producción nacional con políticas que regulen el consumo energético brindando incentivos como certificaciones de eficiencia energética regionales y más aún si se producen materiales de los desechos industriales fomentarán así la aplicación y desarrollo de nuevos materiales.

Hay estudios hechos de PCM en el país usando desechos industriales como los realizados por Acuario y otros (2018) usando diatomita reciclada y diatomita gastada en mezclas de aceite de palma y ácido esteárico en diferentes proporciones obteniéndose una mejora en el rendimiento térmico, Orozco, Martínez, Chico, & Acuario (2018) caracterizaron

nitratos como PCM, Reyes (2020) caracteriza al aceite de pepa de aguacate como material cambio de fase.

De los estudios realizados por Reyes al caracterizar y simular la pepa de aguacate se concluye que puede ser usado para aplicaciones a baja temperatura debido a que este aceite tiene un porcentaje alto de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico 38,92%), que según Rasta & Suamir (2018) los ácidos grasos poliinsaturados hacen que las temperaturas de congelación y fusión sean relativamente bajas. El aceite de las semillas de maracuya tiene un alto contenido ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico 67,53%) casi el doble del aceite de pepa de aguacate que lo hace un candidato idóneo para ser caracterizado para uso de aplicaciones de enfriamiento cabe señalar que no existe información sobre estudios realizados para caracterizar este aceite como PCM.

Esta investigación se enfoca específicamente en el estudio las pepas de maracuyá y las pepas de aguacate como desechos de la industria alimenticia, de estos residuos se pueden obtener ácidos grasos los cuales se pueden caracterizar por sus propiedades térmicas y químicas utilizando técnicas como la calorimetría diferencial de barrido (DSC, por sus siglas en inglés), Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés), termogravimetría (TGA, por sus siglas en inglés). para ser considerado como un PCM sostenible para aplicaciones potenciales en el almacenamiento de energía térmica en frío.

Planteamiento del problema

El proceso de transformación de materias primas en productos terminados de las diversas industrias que operan actualmente en el Ecuador implica un problema ambiental sino se toma en cuenta dicho aspecto, pues durante el proceso se tienen subproductos o desechos

que son arrastrados ya sea por el agua (contaminando el curso de los ríos), por el aire (con molestias por presencia de malos olores) o algunos de estos desechos son quemados o descargados en rellenos sanitarios generando una gran cantidad de gases de efecto invernadero. Los desechos que son descargados directamente sin previo tratamiento afectarán el ecosistema impactando de modo negativo el desarrollo de los seres vivos, tal es el caso del procesamiento del maracuyá y el aguacate ya que en la actualidad la pulpa se la consume. Las semillas son las que se pueden desechar en cierto porcentaje, y aunque no es un contaminante el quemarlo o llevarlo a fosas sí que puede ser un impacto.

Siendo el cultivo del maracuyá y el aguacate el desarrollo de la economía de algunas provincias, no sólo por el crecimiento económico sino también tomando en cuenta el impacto sobre la dinámica de la población rural y en el medio ambiente, cada vez se demanda por un proceso en el que deseche un porcentaje menor o mejor aún que dicho desecho no cause problemas ambientales. Al reciclarse y utilizarse estos desechos orgánicos pueden convertirse en productos de alto valor agregado dejando de ser considerados como basura y convirtiéndose en nuevos recursos de tecnologías encaminadas hacia un desarrollo sustentable de los recursos naturales.

Tanto la semilla de maracuyá como la pepa de aguacate son considerados desechos orgánicos de las industrias alimenticias, ya que de la semilla se extrae el aceite (con el propósito de darle una utilidad como materia prima para la extracción de aceite) y encontrar una aplicabilidad lo hace sostenible y atractivo al mercado nacional ya que son productos autóctonos.

Justificación

El PCM es conocido como un elemento importante en la gestión de almacenamiento y liberación de energía térmica durante el cambio de fase. Los ácidos grasos son utilizados ampliamente en los PCM debido a su alta capacidad de almacenamiento de calor, bajo sobreenfriamiento, componentes no tóxicos, buena estabilidad térmica y química, ausencia de autonucleación y cambios mínimos de volumen durante el cambio de fase. (Zhou, Zhou, Yuan, & Liu, 2020)

Los materiales comúnmente utilizados en el empleo de PCM son bastante caros y frecuentemente se fabrican usando materias primas no renovables como los componentes de base petroquímica. Algunos investigadores del mundo plantearon la producción de alternativas renovables para sustituir los componentes derivados de la industria petroquímica, esta investigación de frontera condujo al desarrollo de un nuevo PCM denominado PCM de base biológica que son mezclas orgánicas obtenidas de materia prima infrutilizada con el único inconveniente que cuando se utilizan estos materiales de desecho es la falta de información de las propiedades termodinámicas, fisicoquímicas y su composición. Por eso es necesario llevar a cabo investigaciones para conocer sus propiedades. (Fabiani, Pisello, Barbanera, & Cabeza, 2019)

Las semillas de maracuyá y pepa de aguacate se podrían procesar como una materia prima alternativa sostenible para obtener una fuente rica en lípidos y ácidos grasos esenciales, como los ácidos linoleico, oleico y palmítico, reduciendo así los residuos de la agroindustria generando un nuevo producto con beneficios potenciales. En este contexto, el aceite extraído de las semillas de maracuyá y pepa de aguacate surge como un material potencial para ser utilizado en varios segmentos tecnológicos, como por ejemplo un material cambio de fase. (Santos, et al., 2020)

Con estos precedentes, el objetivo general del presente trabajo de investigación es: Caracterizar las mezclas de aceite de semillas de maracuyá y pepa de aguacate por medio de la Calorimetría Diferencial de Barrido, Espectrometría Infrarroja y Termogravimetría para determinar sus propiedades térmicas y catalogarlo como un material de cambio de fase.

Para lograr alcanzar el objetivo general, los objetivos específicos planteados en la presente investigación son:

- Determinar en los aceites la influencia que tiene el alto contenido de los ácidos grasos poliinsaturados mediante la calorimetría diferencial de barrido para ser usado como un PCM a bajas temperaturas.
- Analizar que el alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados en las mezclas, mediante la calorimetría diferencial de barrido mejora los resultados de entalpia de fusión.
- Investigar el desarrollo de aceites con potencial de PCM con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados mediante la caracterización (DSC; TGA; FTIR) para el almacenamiento de energía térmica fría.

Hipótesis

A partir de las mezclas de aceite de semillas de maracuyá y pepa de aguacate, es posible considerar a los ácidos poliinsaturados de estos aceites como PCM y que por sus perfiles de ácidos grasos las mezclas de estos aceites tienen el potencial de mejorar sus propiedades térmicas, consecuentemente entre más porcentaje de ácidos poliinsaturados mejorará los resultados de la entalpia de fusión.

Estado del Arte

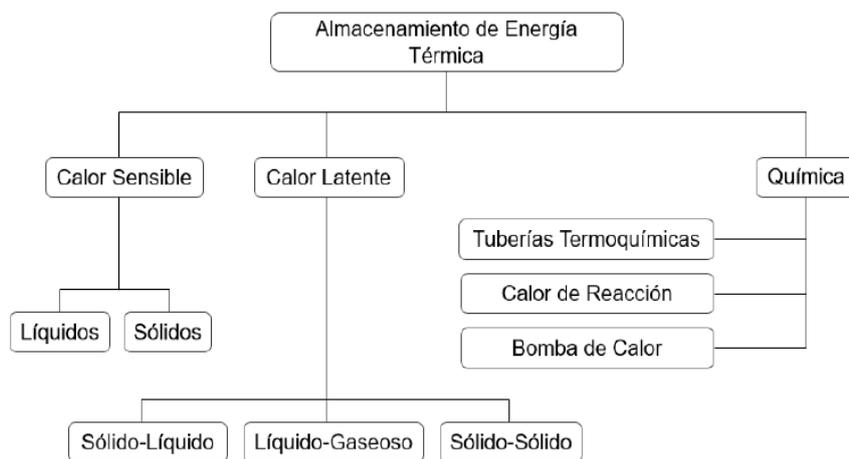
Sistemas de almacenamiento térmico

El almacenamiento de energía térmica es un método que acumula energía ya sea calor o frío y que sigue la primera ley de la termodinámica donde establece que, si se realiza trabajo sobre un sistema o este intercambia calor con otro, la energía interna del sistema intercambiará. En el almacenamiento los cambios de energía interna se pueden apreciar en los cambios de temperatura, cambio de fase o en una reacción fisicoquímica. Es importante que los procesos sean reversibles para que funcionen como un sistema de almacenamiento de energía. (Lobera, 2020)

En la figura 1 se observa las formas de almacenamiento de energía.

Figura 1

Formas de almacenamiento de energía



Nota. Diferentes tipos de almacenamiento de energía térmica (Moscoso, 2016)

Tipos de Almacenamiento de Energía Térmica

Las formas de almacenamiento térmico según los cambios de energía interna son:

- Calor Sensible
- Calor Latente
- Termoquímico

Calor Sensible

Es la cantidad de energía que produce un cambio de temperatura de un cuerpo sin afectar su estructura molecular, es decir el material no cambia de estado. ((Moreno, 2013)

Calor Latente

Es la energía requerida que necesita absorber o desprender una sustancia para cambiar su estado físico o fase sin cambiar su temperatura durante el proceso. El cambio de estado o fase más empleado es el de líquido – sólido porque tienen entalpías de cambio de estado bastante elevadas y cambios de volumen bajos. (Garcia M., 2012)

A los materiales que por calor latente son capaces de almacenar energía térmica son denominados materiales cambio de fase muy conocidos como PCM por sus siglas en ingles Phase Material Change. (Rodriguez U., 2015)

Termoquímico

En este almacenamiento térmico el calor que se produce por la reacción química reversible es absorbida, produciéndose una reacción endotérmica y exotérmica con la descarga. Estas reacciones necesitan para su combinación por lo menos de dos sustancias, este método es el más eficiente por la alta densidad de energía en los procesos y la falta de perdida de calor en el periodo de almacenamiento, pero el problema es que no hay aplicaciones reales, es decir no hay un desarrollo comercial debido a los altos costos de los materiales que involucra este proceso. (Lobera, 2020)

Material Cambio de Fase

Los materiales cambio de fase o PCM al cambiar de estado (sólido ↔ líquido ↔ gaseoso) pueden absorber o liberar gran cantidad de energía térmica a la temperatura cambio de fase. La utilidad de estos materiales es que mantienen su temperatura constante cuando cambian de fase mientras que el material absorbe o cede energía, debido a esto los PCM tienen una mayor densidad energética en comparación con cualquier otro. (Oliver A. , 2009)

El cambio de fase solido-liquido es útil y viable en comparación de los otros cambios de fase ya que absorben gran cantidad de calor a temperatura constante mientras se produce el cambio de fase una vez llegada a la temperatura adecuada. (Serrano, 2015)

Propiedades de los PCM

Las características más importantes que deben tener los PCM aparecen recopiladas en la siguiente tabla.

Tabla 1

Propiedades de los PCM

Propiedades Térmicas	Propiedades Físicas
Temperatura de fusión adecuada para la aplicación	Las variaciones en su volumen al cambiar de estado deben ser pequeñas
Calor latente de cambio de fase elevado	Densidad elevada para almacenar mayor cantidad de calor por unidad de volumen
Alta conductividad térmica	No debe producirse subenfriamiento
Capacidad calorífica elevada	
Propiedades químicas	Otras propiedades
Estabilidad	Barato
No debe producirse separación entre sus fases	Abundante
Compatibilidad con el material del contenedor	
No toxico, no inflamable, no contaminante, no corrosivo	

Nota. Características importantes que tienen los PCM en aplicaciones de acumulación de energía (Vidal, 2007)

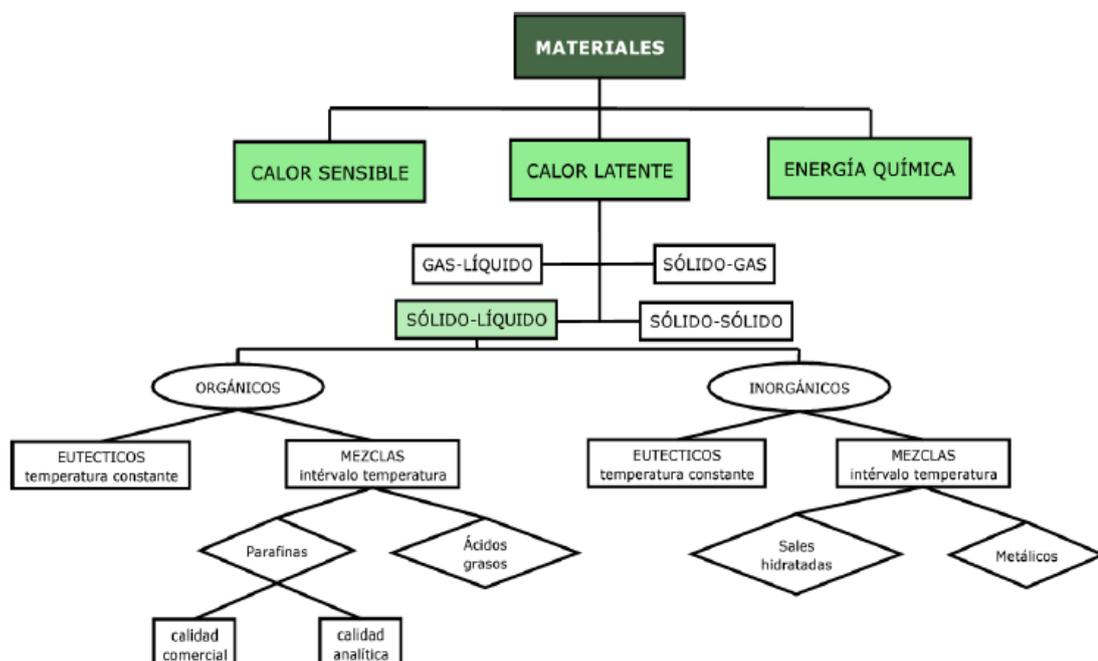
La alta densidad aumenta la densidad de almacenamiento y disminuye el volumen del sistema de almacenamiento de energía térmica, esto se debe a que el calor latente de fusión del material es muy grande en comparación con el calor específico como por ejemplo la sal de nitrato de sodio que tiene un calor específico de $1,1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ y un calor latente de fusión de aproximadamente 172 kJ/kg esta diferencia les da una ventaja a los materiales de almacenamiento por calor latente que tengan una alta densidad de almacenamiento de energía y reducción del volumen de los sistemas de almacenamiento de energía térmica (se traduce en la reducción de su superficie exterior y se minimiza la pérdida de calor). (Bravo Hidalgo, 2018)

Clasificación de los PCM

Estos se clasifican según su origen en orgánicos e inorgánicos y estos a su vez en compuestos y mezclas eutécticas como se muestra en la figura.

Figura 2

Clasificación de PCM utilizados para almacenamiento térmico



Nota. Clasificación de los materiales utilizados para acumulación de energía térmica (Vidal, 2007)

PCM Inorgánicos

En este grupo se encuentran las sales hidratadas y los metálicos, se caracterizan por tener una alta entalpia de cambio de fase y por ende una alta capacidad de almacenamiento de energía por unidad de volumen, son económicos, no inflamables, alta disponibilidad, pero presentan ciertos inconvenientes como ser corrosivos, subenfriamiento, corrosión. (Perez, 2018)

PCM Orgánicos

Estos PCM tienen características muy importantes para aplicaciones de almacenamiento térmico ya que tienen alta estabilidad química y térmica, no son corrosivos, no sufren subenfriamiento permitiendo aprovechar al máximo la capacidad de almacenamiento térmico que posee el material, la desventaja de estos materiales es su elevado costo, tienen alto grado de inflamabilidad, su conductividad térmica es baja. Entre los materiales orgánicos usados como PCM tenemos: Parafinas, ácidos grasos y mezclas orgánicas. (Sastre, 2019)

Parafinas

Son mezclas de hidrocarburos saturados de n-alcanos de cadena lineal obtenidos en el refinado del crudo del petróleo, su punto de fusión y calor latente aumenta de acuerdo con la longitud de la cadena; la forma sólida de la parafina es la cera de la parafina. Las parafinas presentan una capacidad de 4 a 5 veces mayor de acumulación de energía que el agua, el almacenamiento de energía y la liberación lo hacen a temperaturas constantes, no tienen ningún efecto de sobreenfriamiento, baja corrosión, la desventaja que presentan es que son inflamables, baja conductividad térmica, no compatible con recipientes plásticos. (Socoli, 2017)

Ácidos Grasos

Se obtienen a partir de fuentes vegetales y animales; su fórmula general es R-COOH, donde R es una larga cadena alquílica de más de 12 carbonos que puede ser saturada o insaturada. (Oliver A. , 2009)

Los ácidos grasos saturados se caracterizan por no tener dobles enlaces y punto de fusión más o menos elevado propios de las grasas sólidas como cebos y mantecas. Los ácidos grasos insaturados tienen un punto de fusión más bajo que los saturados poseen uno o más dobles enlaces clasificándose en monoinsaturados o poliinsaturados, los monoinsaturados tienen un doble enlace encontrándose en alimentos de origen animal y vegetal siendo el más importante el ácido oleico y los poliinsaturados tienen de 2 a 6 dobles enlaces originando grasas líquidas (aceites) encontrándose en este grupo el ácido linolénico que predomina en las plantas y el ácido linoleico presente en los aceites vegetales como el maíz, girasol y soya. (Amasifuen, 2017)

Los ácidos grasos saturados utilizados como PCM son los ácidos palmíticos y el esteárico con calores latentes y temperaturas de fusión 185 kJ/kg, 64⁰C y 202 kJ/kg, 69⁰C respectivamente y los ácidos grasos insaturados usados como PCM tenemos a los ácidos grasos monoinsaturados como el ácido oleico con calor latente y temperatura de fusión de 76 kJ/kg, 13⁰C, los ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoleico con temperatura de fusión -5⁰C. (Fleischer, 2015)

Entre las propiedades importantes que presentan los ácidos grasos tenemos que son no corrosivos, rango de temperatura adecuado, menor presión de vapor, alta capacidad calorífica, fusión congruente, no tóxico, estabilidad, bajo costo, no inflamables, cambio de volumen pequeños, rango de temperatura de fusión adecuada; el único inconveniente que presentan es su baja conductividad térmica y las temperaturas de fusión individuales que son

más altas que la temperatura de confort para edificios residenciales y generales, esto hace que se retarde el almacenamiento y la velocidad de liberación de calor durante la fusión. Tanto los ácidos grasos como los PCM tienen una baja conductividad térmica, debido a esto se deben elaborar compuestos de ácidos grasos como PCM para mejorar la capacidad de conducción de calor, la forma estable y la solidificación. Para estabilizar los PCM hay 4 métodos de preparación: adsorción, mezclas de polímeros, hilado electrostático y microencapsulación (Yuan, Zhang, Tao, Cao, & He, 2014)

Los PCM de base biológica son materiales derivados de fuentes renovables y respetuosos con el medio ambiente como los ésteres de ácidos grasos y los ácidos grasos mostrando composición química estable, menor inflamabilidad, calor latente adecuado, comportamiento de autonucleación, estabilidad térmica, rango de temperatura de fusión-congelación útil, no tóxico, menor inflamabilidad, disponibilidad, biodegradables, sobreenfriamiento limitado y un impacto ambiental mínimo. (Okogeri & Stathopoulos, 2021)

El concepto del uso de material de desecho como PCM ha mostrado un gran interés porque resultarían ser económicos y ayudarían a preservar el medio ambiente, ya que este material ha dado buenos resultados en sus propiedades térmicas como entalpía, densidad, capacidad calorífica y conductividad térmica. El inconveniente que presenta la utilización de estos materiales de desecho en los sistemas de almacenamiento de energía es la falta de información de las propiedades termodinámicas y la composición limitando así la aplicación de estos materiales como PCM. (Abdul, Jamari, & Abidin, 2020)

Temperaturas de trabajo en los Sistemas de Almacenamiento Térmico

Según Okogeri y Stathopoulos (2021) los PCM existentes deben coincidir con los respectivos rangos de aplicación:

- PCM de baja temperatura para rango de temperatura (-20 a 5⁰ C) se aplica para refrigeración comercial y doméstica.
- PCM para rango de temperatura medio bajo (5°C a 40°C) utilizado para aplicaciones de calefacción y refrigeración en edificios.
- PCM para rango de temperatura media (40 a 80⁰C) aplicaciones de agua caliente, electrónica y calefacción solar.
- PCM para rangos de alta temperatura (80 a 200⁰C o más) para procesos de recuperación de calor residual, enfriamiento por absorción y generación de electricidad.

PCM de Baja Temperatura (-20 a 5⁰ C)

La aplicación comercial principal de la utilización de estos PCM se da en el transporte y almacenamiento de productos sensibles a la temperatura, donde estos PCM se pueden incorporar en camiones refrigerados, envases de alimentos y productos médicos, mejorando así la capacidad de amortiguación térmica para los productos perecederos. (Du, Calautit, Wang, Wu, & Liu, 2018)

Ahmed, Meade, & Medina (2010) investigó un método innovador para reducir la transferencia de calor en las paredes de los contenedores de los camiones refrigerados mediante la utilización de PCM a base de parafinas (colocados en la espuma aislante de las paredes del camión) logrando una reducción de la transferencia de calor máxima del 29,1% y en la transferencia de calor total del 16,3%.

Masia, Rubio, & Lagaron (2013) desarrollo una técnica de encapsulación, dodecano (temperatura de transición de -10⁰C) encapsulado en una matriz de zeína (una proteína de maíz) para el envasado de alimentos inteligentes observando que las temperaturas de

transición no se modificaron después de 20 ciclos térmicos y la entalpía de fusión cambió levemente de 34,482 kJ/kg a 30,667 kJ/kg.

Hoang, et al. (2014) estudiaron el comportamiento térmico de la cera de parafina encapsulado en policaprolactona (temperatura de fusión 5⁰C) en el envasado de alimentos (jamón cocido), se observó que las temperaturas de las placas de PCM aumentaron a 7,5⁰C y 5,65⁰C con una vida útil de 380 h mientras que la temperatura del embalaje cartón superó los 20⁰C con una vida útil de 356 h concluyendo que los materiales de empaque de PCM mejoraron la capacidad de amortiguamiento térmico y protección térmica para productos perecederos.

Mondieig, et al. (2003) investigaron la protección térmica en el transporte de sangre con PCM de aleaciones moleculares (MAPCM) con punto de fusión de 4,8⁰C observando que la temperatura exterior era de 22⁰C y en el envase de la caja con PCM tenía una temperatura por debajo de 10⁰C durante más de 6 h, 8 veces más que el envase original sin PCM.

PCM de Temperatura Medio Bajo (5°C a 40°C)

Los compuestos orgánicos (parafinas y ácidos grasos) y compuestos de hidratos de sal son comúnmente usados en este rango de temperatura porque se pueden integrar en componentes de construcción ayudando a amortiguar los cambios de la temperatura interior y mejorar el confort térmico o en sistemas de aire acondicionado para cambiar las cargas máximas eléctricas diurnas a nocturnas. (Du, Calautit, Wang, Wu, & Liu, 2018)

PCM de Temperatura Media (40 a 80°C)

Las parafinas y los ácidos grasos son ampliamente usados e integrados en sistemas solares agua caliente sanitaria y destiladores para fines de calefacción ayudando a extender los periodos de operación con un rendimiento operativo de hasta un 86% y en dispositivos

electrónicos para refrigeración ayudando a mejorar el rendimiento operativo en 26% ampliar su vida útil en 300%. (Du, Calautit, Wang, Wu, & Liu, 2018)

PCM de Alta Temperatura (80 a 200°C o más)

Los compuestos orgánicos (ácidos carboxílicos, alcoholes de azúcar, parafinas y amidas), hidratos de sales y mezclas eutécticas (mezclas binarias y ternarias de sales de nitrato de metales alcalinos como potasio litio y sodio conocidos como líquidos iónicos) se aplican típicamente en este rango de temperatura para almacenar energía en la recuperación del calor residual y generación de electricidad solar térmica ayudando a almacenar y entregar energía a temperatura constante mejorando así su eficiencia en el uso de la energía y reduciendo los contaminantes ambientales. (Du, Calautit, Wang, Wu, & Liu, 2018)

Propiedades Térmicas de PCM de Ácidos Grasos más Comunes

A continuación, en la siguiente tabla se muestran las propiedades térmicas de PCM orgánicos de ácidos grasos más comunes.

Tabla 2

Propiedades térmicas de ácidos grasos

Nombre	T _m (°C)	Calor Latente (KJ/kg)	ρ (kg/m ³)	C _p (KJ/kg)	k (W/m K)
Ácido oleico	13	75,5	871 (líquido)	1744 (líquido)	0,103 (líquido)
Ácido cáprico	32	153	1004 (sólido) 878 (líquido)	1950 (sólido) 1720 (líquido)	0,153 (líquido)
Ácido láurico	44	178	1007 (sólido) 965 (líquido)	1760 (sólido) 2270 (líquido)	0,147 (líquido)
Ácido palmítico	64	185	989 (sólido) 850 (líquido)	2200 (sólido) 2480 (líquido)	0,162 (líquido)
Ácido esteárico	69	202	965 (sólido) 848 (líquido)	2830 (sólido) 2380 (líquido)	0,172 (líquido)

Nota. Propiedades térmicas de algunos PCM orgánicos comunes. Adapted de Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials. (Fleischer, 2015)

Sari y Kaygusuz (2003) estudiaron la estabilidad térmica de los ácidos esteárico, palmítico, mirístico y láurico en ciclos largos de calentamiento-enfriamiento con la compatibilidad de materiales de construcción (acero inoxidable, acero al carbón, aluminio y cobre) para pruebas de resistencia a la corrosión mostrando que los ácidos grasos tienen una buena estabilidad térmica hasta 410 ciclos térmicos, sin embargo, después de 910 ciclos térmicos la estabilidad térmica del ácido esteárico y láurico disminuye más de un 30% y para el ácido palmítico y mirístico la estabilidad térmica disminuye en un 17% , concluyendo que el ácido palmítico y mirístico tienen una menor disminución de calor latente.

Cellat, et al. (2015) investigaron la incorporación de mezclas binarias como PCM de ácido cáprico-láurico y ácido cáprico-mirístico en mezclas específicas de hormigón obteniéndose rangos de fusión adecuados con una entalpia de 109 J/g, temperatura de 21,4⁰C para la mezcla ácido cáprico-láurico y una entalpia de 155,4 J/g, temperatura de 26⁰C para la mezcla ácido cáprico-mirístico, estas mezclas pueden soportar temperaturas hasta 120⁰C sin descomponerse, indicándonos que los PCM aquí estudiados se pueden utilizar para almacenamiento pasivo de energía solar en edificios.

El ácido cáprico se encuentra en el aceite de coco en un 10%, aceite de palmiste en un 6%, aceite de almendra en un 4% y en la leche de distintos mamíferos. El ácido mirístico se encuentra ampliamente distribuido en aceites de plantas como el aceite de coco en 21%, aceite de palmiste 18% y en menor escala en grasas de animales. El ácido láurico se encuentra en el aceite de coco en un 53% aceite de palmiste 52% y leche materna humana 6%. Ácido palmítico se encuentra en el aceite de palma 48%, aceite semillas de algodón 29%, grasas lácteas (mantequilla, queso y nata) y la carne. Ácido oleico se encuentra en la mayoría de las grasas y aceites naturales como el aceite de oliva 87%, aceite cártamo 83%, aceite de girasol 20%, aceite de maíz 29%, aceite de palma 37% y aguacate 15%. Ácido esteárico se encuentra en casi todos los aceites vegetales como aceite de soja 4,5%, aceite de girasol 4%,

aceite de oliva 3,5%, aceite de majo 3% y aceite de maíz 2,4%. (Rendon, Chavez, & Torrico, 2013)

Composición de los Ácidos Grasos presentes en la Pepa de Aguacate y Pepa de Maracuyá

De la investigación hecha por Reyes (2020) el aceite de aguacate sirve en aplicaciones de almacenamiento de energía en frío debido a su perfil de ácidos grasos insaturados que le permite alcanzar bajas temperaturas, sin embargo, el aceite de maracuyá presenta un perfil de ácidos grasos poliinsaturados mayor, por lo que es interesante estudiar como la mezcla de estos aceites nos podría permitir alcanzar menores temperaturas sin perder otras propiedades.

Del análisis cromatográfico hecha a los aceites nos muestra la composición de los ácidos grasos presentes en las pepas de aguacate y maracuyá en la siguiente tabla.

Tabla 3

Ácidos grasos de las pepas de aguacate y maracuyá

NOMBRE	SEMILLA DE MARACUYA (%)	PEPA DE AGUACATE (%)
ACIDOS GRASOS SATURADOS	15,45	32,495
PALMITICO	14,16	20,847
ESTEARICO	1,29	1,185
ACIDOS GRASOS INSATURADOS	84,55	67,26
ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS		
OLEICO	16,33	17,41
PALMITOLEICO	0,23	1,786

ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS		
LINOLEICO	67,53	38,892
LINOLENICO	0,46	6,577
ACIDOS GRASOS INSATURADO/SATURADO	5,47	2,07

Nota. Composición de ácidos grasos de las semillas de aguacate y maracuyá. Adaptada (Bora, Narain, Rocha, & Queiroz, 2001) y (Alvarado & Sandoval, 2018)

Campos de Aplicación de los PCM

Algunas aplicaciones de los PCM.

Construcción

Los edificios están expuestos a influencias climáticas permanentes como la temperatura interior de la construcción que está sometido a las condiciones exteriores, interiores y las características térmicas de la edificación. Los PCM son muy utilizados en este sector por los beneficios que este le otorga como el ahorro energético, optimización de la inercia térmica en edificaciones y la reducción de la contaminación de CO₂ con el objetivo de mejorar la habitabilidad de las personas. (Sarabia, 2020)

Textiles

La incorporación de PCM en la estructura textil mediante recubrimiento o encapsulamiento se denominan textiles inteligentes ya que estos reaccionan inmediatamente con las variaciones de temperaturas corporales en diferentes áreas del cuerpo y temperaturas ambientales así: si la temperatura aumenta las microcápsulas de los PCM absorben calor almacenando energía y si la temperatura baja estas microcápsulas ceden el calor almacenado. Al textil inteligente incorporado un PCM a baja temperatura se denomina textil

termorregulador, el uso de los PCM en los textiles incluyen mantas, ropa protectora, campo médico, aislamiento, etc. (Mondal, 2008)

Otros Usos

El empleo de PCM en los últimos tiempos ha aumentado rápidamente en diversas aplicaciones para diferentes campos, así tenemos nuevos PCM con atributos mejorados o con propiedades físicas convenientes para aplicaciones específicas como en el calentamiento y enfriamiento del cuerpo humano se han utilizado PCM para el confort personal y aplicaciones terapéuticas. (Oliver, Neila, & Garcia, 2012)

O para una amplia gama de tecnologías como el almacenamiento de información, código de barras, incorporación de PCM en mezclas asfálticas, refrigeración fija y almacenamiento de energía térmica. En síntesis, los PCM prometen gran cantidad de formulaciones para sus diferentes usos. (Hyun, Levinson, Jeong, & Xia, 2014)

Logística

En las operaciones de transporte, almacenamiento y distribución de los productos en el mercado como medicamentos, alimentos, obras de arte y traslado de maquinaria, son sectores que tienen especial sensibilidad a la temperatura. Los PCM garantizan la estabilización de la temperatura en productos y mercancías con temperaturas entre 2⁰ C a 8⁰ C, se vierten en recipientes plásticos para luego utilizarse como acumulador de refrigeración. (<http://www.rubitherm.eu/en/applications.html>, 2016)

Así tenemos que para el transporte de mariscos vivos a largas distancias se necesita una temperatura de 5⁰C, la sangre para futuras transfusiones debe enfriarse rápidamente a 20⁰C y ser transportada a la misma temperatura, el semen vacuno y caballar debe ser transportado a -21⁰C, el semen de cerdo y conejo se transporta a -3⁰C y 10⁰C

respectivamente, las vacunas antirrábicas se transportan a 18⁰C, alimentos refrigerados y congelados se transportan a -3⁰C y -21⁰C respectivamente y frutas tropicales a 10⁰C.

(Dominguez, Garcia, & Arias, 2008)

Empleo de los PCM en las Energías Renovables

Las energías renovables al ser utilizadas exhiben un bajo impacto negativo sobre el medio ambiente pero el problema es su suministro, por ejemplo, el sol no brilla en la noche y el viento no sopla todo el tiempo. Para utilizar eficientemente estas energías se necesita contar con métodos de almacenamiento de energía rentables y a gran escala, la acumulación de energía térmica por calor latente es la solución a este problema y los materiales de cambio de fase (PCM) son los más apropiados para almacenar energía térmica de fuentes de energía renovable de manera efectiva presentándose como una alternativa para el ahorro y la eficiencia energética. El empleo de los PCM en las aplicaciones de las energías renovables se sigue estudiando como la cogeneración junto a la acumulación de calor, instalaciones con frío gratuito, recuperación de calores residuales. (Garcia M., 2012)

Caracterización de Materiales

Estudia las propiedades morfológicas y funcionales de las sustancias a partir de la interacción de una señal sea esta eléctrica, luminosa, térmica, etc. La respuesta de dicha perturbación o señal nos permite conocer las propiedades o atributos del material. (Cahn & Lifshin, 1993)

Métodos de Caracterización

Estos métodos de caracterización de materiales son instrumentos valiosos para el análisis de estructuras y composición de materiales artificiales y naturales de muchas disciplinas. (Prubner, y otros, 2001)

Las propiedades importantes por considerarse, para una correcta caracterización termofísica de los materiales son: la energía almacenada, capacidad calorífica, la densidad, conductividad térmica y la viscosidad, todas estas deben estar en función de la temperatura para un apropiado diseño de los sistemas de almacenamiento térmico. (Peñalosa, 2016)

Para este estudio se tomaron los siguientes métodos de caracterización:

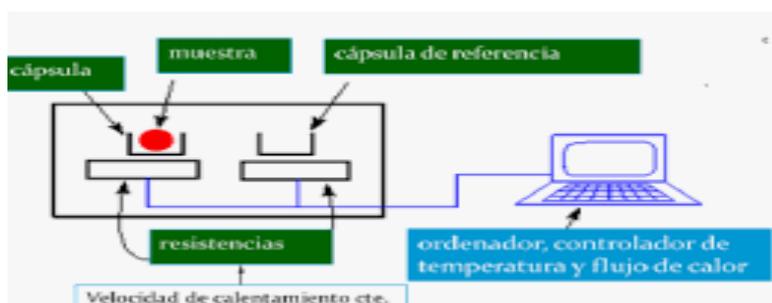
- Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC, por sus siglas en inglés)
- Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés)
- Termogravimetría (TGA, por sus siglas en inglés)

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Es una técnica de análisis térmico donde se evalúa la diferencia de calor entre dos muestras, una la que se va a analizar y la otro de referencia medidas en función de la temperatura aumentando linealmente en función del tiempo. El principio básico de esta técnica evalúa el cambio de fase que experimenta el PCM gastando o cediendo calor con la de muestra de referencia manteniéndose ambas a la misma temperatura, la capacidad calorífica de la muestra de referencia debe tener un valor bien definido en el intervalo de temperatura donde se haga el barrido. ((Amoros, 2011)

Figura 3

Representación gráfica de un calorímetro diferencial de barrido



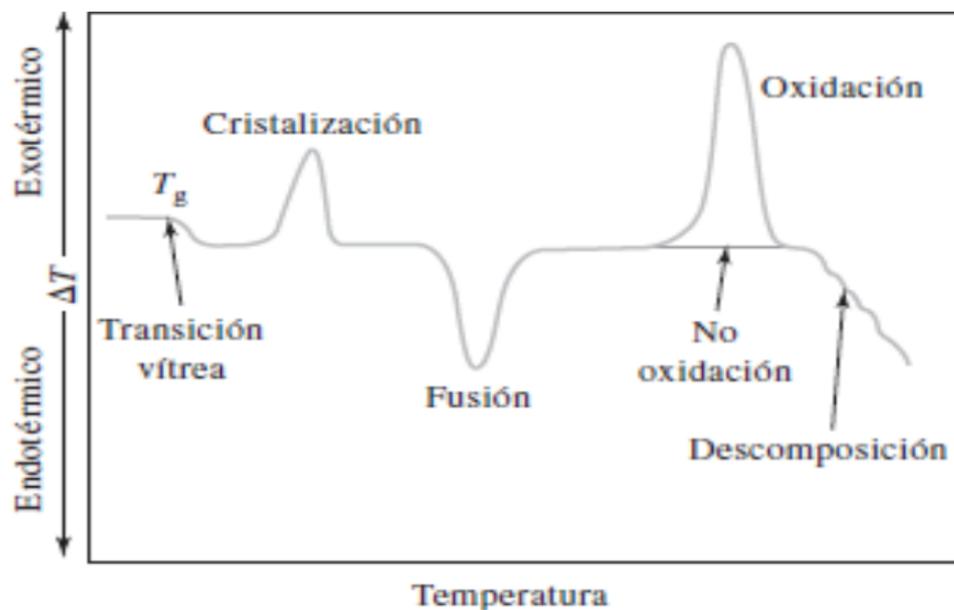
Nota. Esquema de un equipo DSC (Lopez Ortega, 2016)

Curvas DSC

Al analizar el termograma el resultado es una curva de flujo calórico versus temperatura, las muestras de PCM pueden exhibir reacciones exotérmicas que se muestran como picos positivos o negativos dependiendo de la tecnología o instrumentación utilizada en el experimento. El área bajo la curva del pico representa la entalpía de transición. (Amoros, 2011)

Figura 4

Ejemplo de un diagrama de DSC



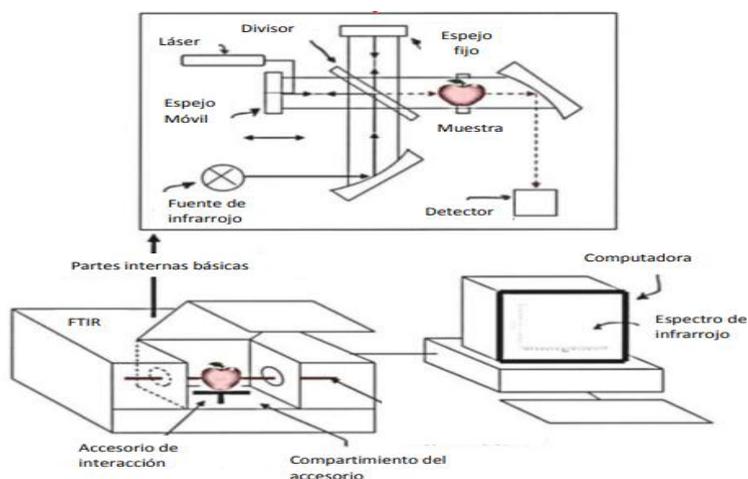
Nota. Curvas de transiciones térmicas. (Skoog, Holler, & Crouch, 2008)

Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier

Esta técnica analítica es muy valiosa porque permite identificar compuestos químicos, así como grupos funcionales de sustancias orgánicas e inorgánicas o sus enlaces químicos medidos en diferentes regiones del espectro infrarrojo medio en un rango de 400 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} (Aguirre, 2015)

Figura 5

Representación gráfica de un espectrómetro de infrarrojo



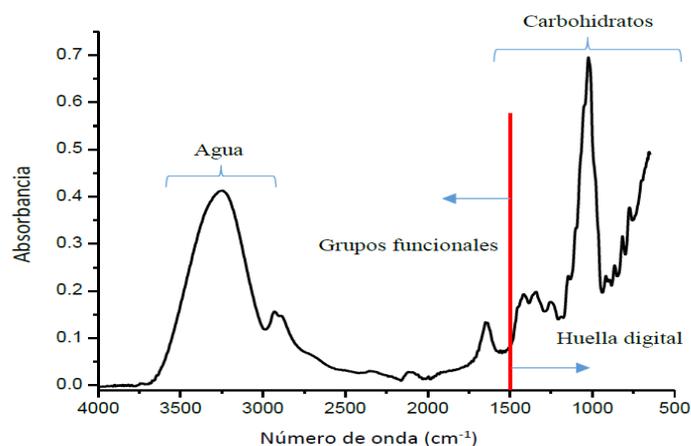
Nota. Esquema de un espectrómetro de infrarrojo (Cortez, 2017)

Curvas FTIR

El análisis de este resultado está dado por un espectro de infrarrojo donde se observa una serie de picos o bandas de absorción ubicadas en diferentes posiciones, alturas y anchuras, en el eje de las x se representa la intensidad de la radiación en número de onda (cm^{-1}) y en el eje de las y la intensidad de la radiación infrarroja o absorbancia.

Figura 6

Ejemplo de un diagrama FTIR



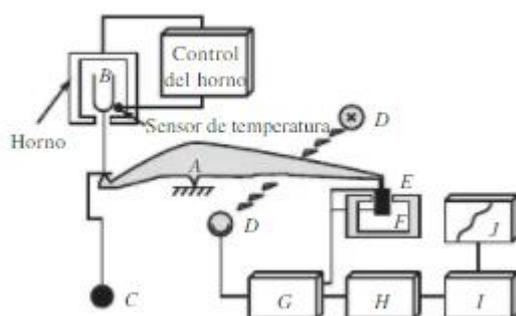
Nota. Espectro infrarrojo miel de abeja (Cortez, 2017)

Termogravimetría

En el análisis termogravimétrico mide la variación de masa de la muestra en una atmosfera controlada en función de la temperatura o el tiempo. Los procesos que experimentan cambios en la masa como la sublimación, vaporización, adsorción, descomposición, desorción y reducción se pueden medir mediante este análisis, pero no los procesos químicos como la cristalización y transición vítrea porque no experimentan cambios en la masa. (Lasanta, 2013)

Figura 7

Esquema de una balanza térmica



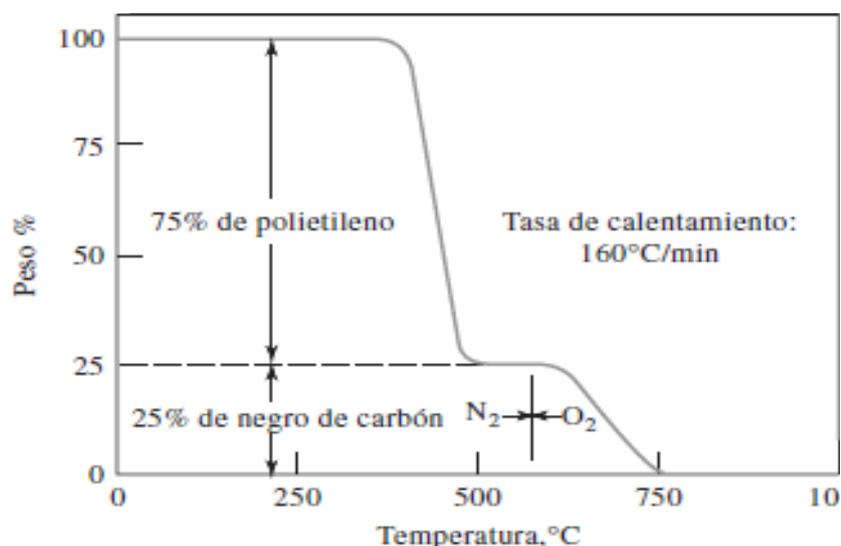
Nota. Esquema de los componentes de una termobalanza (Skoog, Holler, & Crouch, 2008)

Curvas TGA

El resultado del análisis de la curva termogravimétrica es la representación de una curva sigmoideal con uno o varios tramos dependiendo de la composición de la muestra y la naturaleza química de sus componentes, su grafica representa la masa o porcentaje de masa en función del tiempo o temperatura. (Badia, 2007)

Figura 8

Ejemplo de curva TGA



Nota. Representación gráfica de los parámetros característicos de las curvas TGA del negro de carbón en polietileno (Skoog, Holler, & Crouch, 2008)

METODOLOGIA

El estudio de esta investigación es de tipo experimental, ya que se realiza la extracción de los aceites de pepa de aguacate y semillas de maracuyá por el método soxhlet, luego las mezclas de estos aceites se someten a un proceso de caracterización por calorimetría diferencial de barrido, termogravimetría y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier para establecer la estabilidad térmica y química de los PCM.

MATERIA PRIMA

Como materia prima para la extracción de los aceites se seleccionan dos tipos de muestras:

1. Pepa de aguacate maduro
2. Pepa de maracuyá maduro

PREPARACION DEL EXTRACTO

En la preparación del extracto se realiza según Sutrisno, et al. (2019) se selecciona, clasifica y lava las semillas de maracuyá y pepa de aguacate, a este último se realiza la reducción de tamaño en forma de hojuelas de 2 mm de espesor. La materia prima se seca en un horno marca Armrield UOP8-MKII-A a 55⁰ C por 17 h hasta que tenga una humedad del 10%, luego se trituran en un molino manual marca corona tolva baja H modelo L10000.

La técnica usada para la extracción fue por el método Soxhlet, usando 50 g de muestra y 300 ml de etanol durante 7 h, al extracto líquido de las muestras se le hace una filtración al vacío por los residuos que este tiene y luego será evaporada en un rotavapor marca LANPHAN RE-301 3L donde se extrae la mayor cantidad de solvente para que la muestra se concentre.

Los aceites obtenidos serán guardados en recipientes oscuros y a -5⁰ C hasta su análisis.

MEZCLADO DE MUESTRAS

La preparación de las mezclas se realiza según Rohman A., Che Man, Hashim, & Ismail, (2011) dichas mezclas fueron preparadas en un vaso de precipitación de 100 ml y una pipeta de 10 ml, para la homogenización de estas mezclas se agitaron manualmente (vigorosamente).

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de mezcla de los aceites.

Tabla 4

Muestras de aceite con sus porcentajes de composición

Denominación	Aceite semilla maracuyá (%)	Aceite pepa de aguacate (%)
AM-100AA	0	100
25AM-75AA	25	75

50AM-50AA	50	50
75AM-25AA	75	25
100AM-AA	100	0

ANALISIS DE LAS MUESTRAS

Para el análisis de las muestras nos interesa determinar las propiedades térmicas del material de cambio de fase usando las técnicas:

1. Espectrometría infrarroja
2. Calorimetría diferencial de barrido
3. Termogravimetría

Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier

Las muestras se analizan en el espectrómetro marca Jasco modelo FT/IR 4200 mediante la técnica de muestreo por Reflexión Total Atenuada (ATR, por sus siglas en inglés), se coloca una pequeña muestra en una celda infrarroja para exponerlo a una fuente de luz infrarroja barriendo longitudes de onda de 4000 cm^{-1} hasta 600 cm^{-1} con una resolución de 2 cm^{-1} , al pasar la luz transmitida a través de la muestra es medida en cada número de onda permitiendo así calcular la cantidad de luz absorbida por la muestra, es decir se calcula la diferencia entre la intensidad de luz antes y después de pasar por la celda de muestra, una vez obtenido los datos se retiran los picos correspondientes al agua y el oxígeno. Antes de obtener las gráficas finales se retiran los picos pertenecientes al agua y al oxígeno, estas se comparan con tablas y gráficas de FTIR para ver los grupos funcionales obtenidos. ((Reyes, 2020)

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Se utilizo un calorímetro TA Instruments DSC Q2000 capaz de realizar una caracterización térmica con una sensibilidad menor al 0,2 MW con un intervalo de funcionamiento desde -89°C hasta 400°C , estos equipos disponen de dos capsulas o celdas,

una de ellas contiene la muestra a analizar y la otra está vacía que se llama capsula de referencia usada para el análisis térmico diferencial. Se procede a pesar 10mg de muestra para colocarla en una cápsula de aluminio que son herméticamente selladas, estas son sometidas a procesos de calentamiento o enfriamiento constante controlado en una cámara hermética con gas nitrógeno como refrigerante para obtener temperaturas de -50°C (Granados, 2015).

Para borrar el historial térmico se procede a calentar a 90°C por 10 min y para calibrar se enfría a -80°C con una rampa de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, de ahí se procede al registro del perfil y entalpía de cristalización y fusión (temperaturas de inicio y final de cambio de fase). Se determinarán los rangos de temperatura de fusión y cristalización utilizando los termogramas, así como, las entalpías de fusión y cristalización se calculan utilizando el área bajo la curva del termograma. (Solis-Fuentes & Duran-de-Bazua, 2004)

Termogravimetría (TGA)

Este análisis fue hecho en un equipo marca Shimadzu modelo TGA50, se ponen 5 mg de muestra en una canasta de platino que se colocaran en una termobalanza calentándose desde la temperatura ambiente hasta los 1000°C y dos tipos de atmosferas inertes (nitrógeno) y reactivas (aire) con un flujo de 30 ml/min a una velocidad constante de calentamiento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, el proceso se representa en un termograma (gráfico peso vs temperatura). Esta grafica mide la pérdida de peso del material con respecto a la temperatura. (Castorena, Rojas, Delgado, & Robles, 2011)

RESULTADOS

A continuación, en las figuras se muestran los resultados del uso de las técnicas de la calorimetría diferencial de barrido, termogravimetría y espectrometría infrarroja con transformada de Fourier para los diferentes tipos de las muestras analizadas.

Calorimetría Diferencial de Barrido

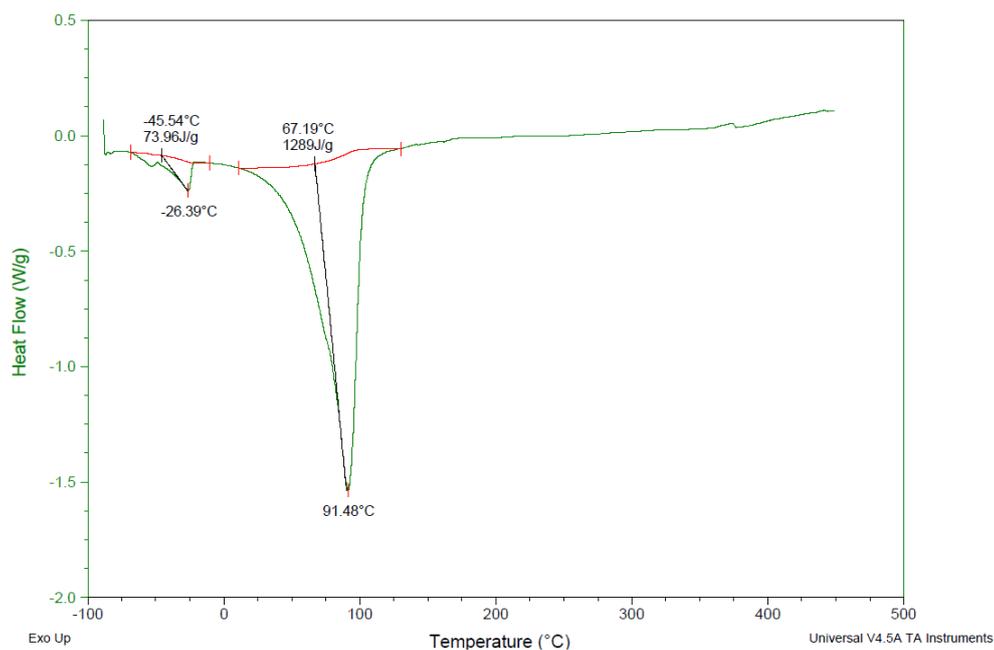
A continuación, se presentan las curvas de fusión de la calorimetría diferencial de barrido evento físico comúnmente utilizado para caracterizar el comportamiento térmico de las muestras. En las gráficas se pueden observar picos grandes y pequeños que representan las temperaturas de fusión y el área bajo estos picos las entalpías de fusión.

Mezcla 1: AM-100AA

En la figura 9 se muestra la curva de fusión de las mezclas de los aceites AM-100AA.

Figura 9

Curva cambio de fase para la muestra AM-100AA

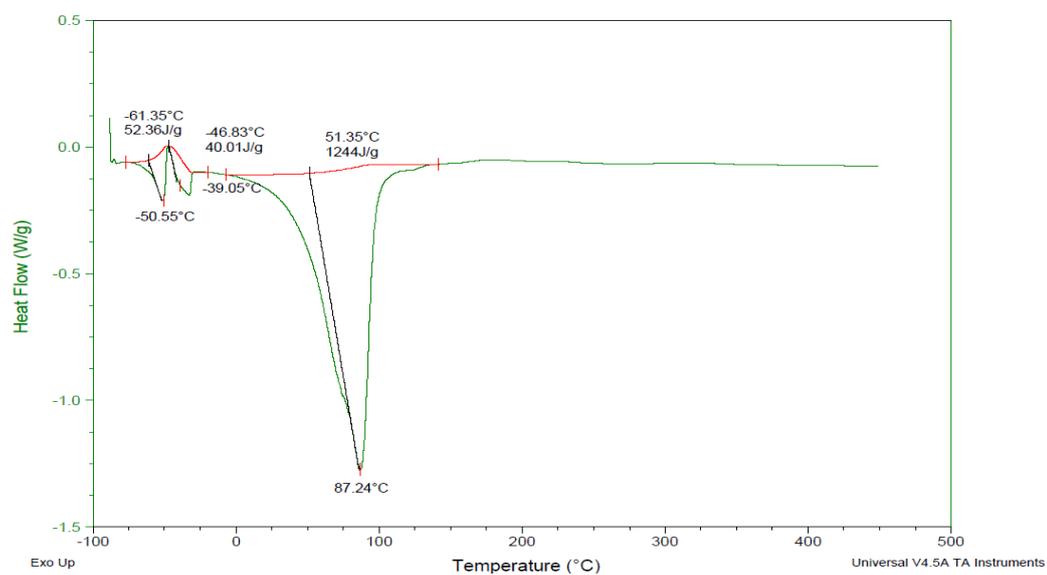


Mezcla 2: 25AM-75AA

En la figura 10 se muestra la curva de fusión de las mezclas de los aceites 25AM-75AA.

Figura 10

Curva cambio de fase para la muestra 25AM-75AA

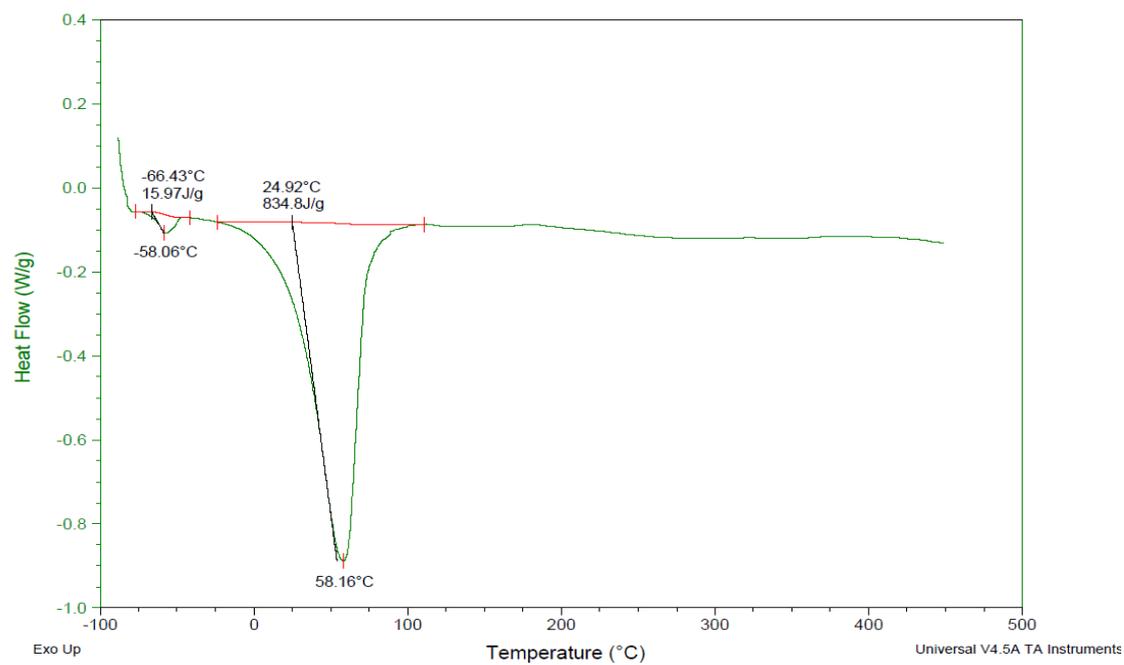


Mezcla 3: 50AM-50AA

En la figura 11 se muestra la curva de fusión de las mezclas de los aceites 50AM-50AA.

Figura 11

Curva cambio de fase para la muestra 50AM-50AA

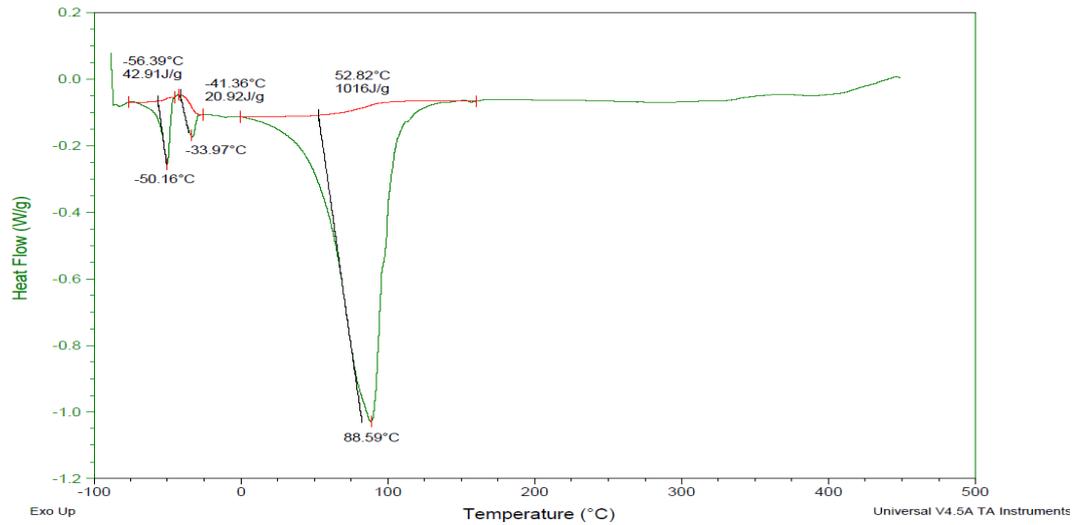


Mezcla 4: 75AM-25AA

En la figura 12 se muestra la curva de fusión de las mezclas de los aceites 75AM-25AA.

Figura 12

Curva cambio de fase para la muestra 75AM-25AA

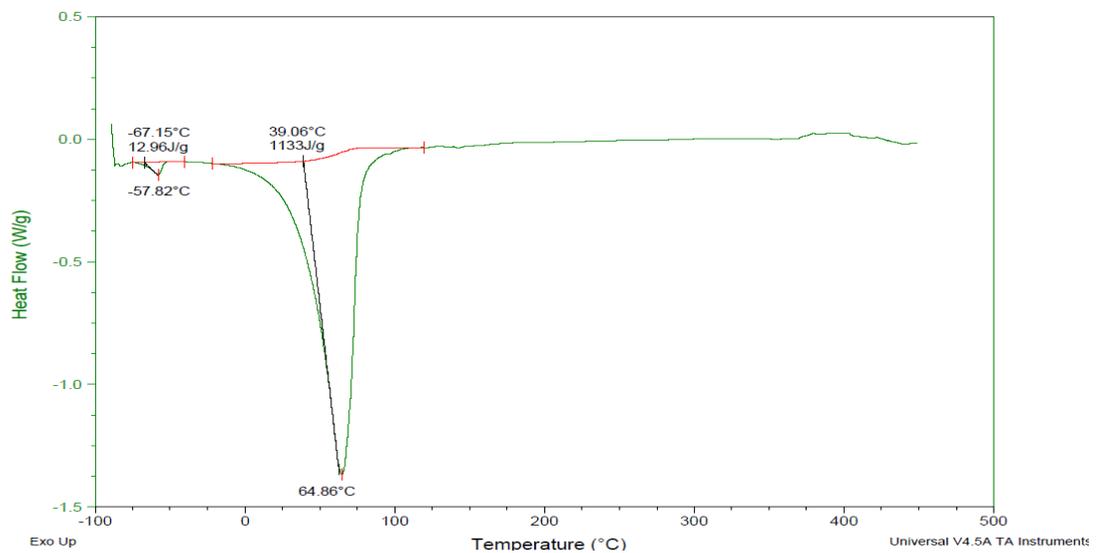


Mezcla 5: 100AM-AA

En la figura 13 se muestra la curva de fusión de las mezclas de los aceites 100AM-AA.

Figura 13

Curva cambio de fase para la muestra 100AM-AA



En la tabla 4 se muestra los valores generales de las entalpías y temperaturas de transición de fase de los diferentes tipos de mezclas de los aceites.

Tabla 4

Datos generales obtenidos de las gráficas del DSC de las mezclas de los aceites

Muestra	Trans. 1 (TI, TM, TF) °C	Entalpía J/g	Trans. 2 (TI, TM, TF) °C	Entalpía J/g	Trans. 3 (TI, TM, TF) °C	Entalpía J/g
AM-100AA	131,25		-12,5			
	91,48	1289	-26,39	73,96		
	67,19		-45,54			
25AM-75AA	137,5		-21,87		-46,83	
	87,24	1244	-39,05	40,01	-50,55	52,36
	51,35		-46,83		-61,35	
50AM-50AA	103,12		-46,87			
	58,16	834,8	-58,06	15,97		
	24,92		-66,43			
75AM-25AA	153,12		-28,12		-46,87	
	88,59	1016	-33,97	20,92	-50,16	42,91
	52,82		-41,36		-56,39	
100AM-AA	112,5		-46,87			
	64,86	1133	-57,82	12,96		
	39,06		-67,15			

Nota. Trans: Transición, TI: Temperatura inicial de transición, TM: Temperatura máxima de transición, TF: Temperatura final de transición.

En la tabla 5 se muestra los valores finales de temperatura de inicio y final de transición de fase, entalpía total y temperaturas de los picos de los diferentes tipos de mezclas de los aceites.

Tabla 5

Datos finales obtenidos de las gráficas del DSC para la curva de fusión

Muestra	Inicio transición (°C)	Final transición (°C)	Pico 1 (°C)	Pico 2 (°C)	Pico 3 (°C)	Entalpia Total (J/g)
AM-100AA	-45,54	131,25	-26,39	91,48		1362,96
25AM-75AA	-61,35	137,5	-50,55	-39,05	87,24	1336,7
50AM-50AA	-66,43	103,12	-58,06	58,16		850,77
75AM-25AA	-56,39	153,12	-50,16	-33,97	88,59	1079,83
100AM-AA	-67,15	112,5	-57,82	64,86		1145,96

En la tabla 6 se muestra los valores de las entalpías de fusión, temperaturas inicio y final de transición y la temperatura de fusión de los diferentes tipos de mezclas de los aceites.

Tabla 6

Datos de temperatura de transición, temperatura de fusión y entalpia de fusión obtenidos de las gráficas del DSC

Muestra	Inicio transición (°C)	Final transición (°C)	Temperatura Fusión (°C)	Entalpia fusión (J/g)
AM-100AA	-45,54	-12,5	-26,39	73,96
25AM-75AA	-46,83	-21,87	-39,05	40,01
50AM-50AA	-66,43	-46,87	-58,06	15,97
75AM-25AA	-41,36	-28,12	-33,97	20,92
100AM-AA	-67,15	-46,87	-57,82	12,96

En las curvas de calentamiento de las figuras 9, 11, 13 se observan dos picos endotérmicos y en las figuras 10, 12 se forman tres picos endotérmicos de los cuales se tomarán los valores de los picos antes de 0° C. En estas regiones se muestran dos picos, según Tan & Che Man (2000) el pico principal es el que tiene la temperatura mas alta; así tenemos

que para la mezcla AM-100AA la entalpía de fusión es 73,96 J/g y temperatura de fusión de $-26,39^{\circ}\text{C}$, la mezcla 25AM-75AA con una entalpía de fusión de 40,01 J/g y temperatura de fusión de $-39,05^{\circ}\text{C}$, la mezcla 50AM-50AA una entalpía de fusión de 15,97 J/g y temperatura de fusión de $-58,06^{\circ}\text{C}$, la mezcla 75AM-25AA una entalpía de fusión de 20,92 J/g y temperatura de fusión de $-33,97^{\circ}\text{C}$ y la mezcla 100AM-AA una entalpía de fusión de 12,96 J/g y temperatura de fusión de $-57,82^{\circ}\text{C}$.

En la tabla 6 se puede observar que los calores latentes y las temperaturas de fusión de las diferentes mezclas de aceites presentan una variación notable, las composiciones donde presentan mayor calor latente son: AM-100AA con entalpía de 73,96 J/g y temperatura de fusión de $-26,39^{\circ}\text{C}$, 25AM-75AA con entalpía de 40,01J/g y temperatura de fusión de $-39,05^{\circ}\text{C}$.

ANALISIS FTIR

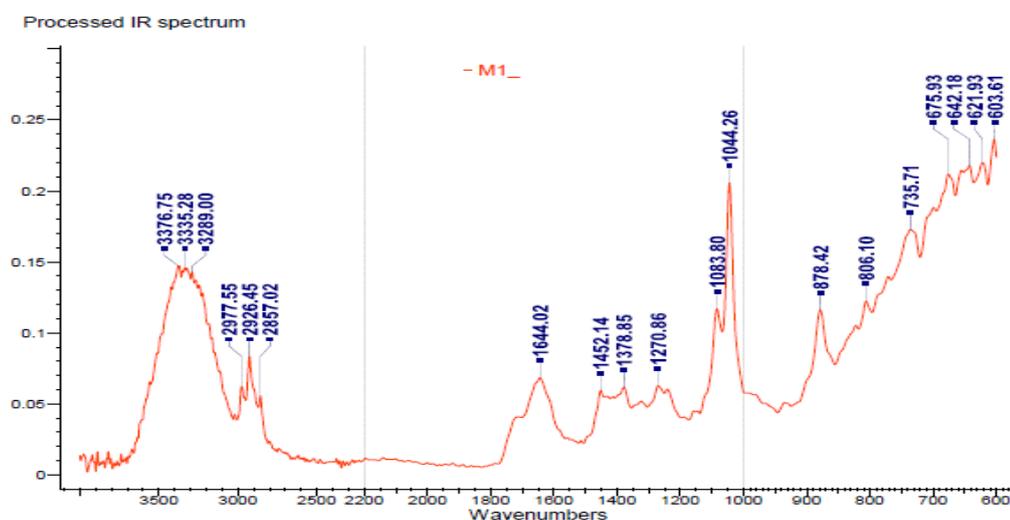
Las gráficas muestran los espectros FTIR de las diferentes mezclas de aceite de pepa de aguacate y pepa de maracuyá, cada pico nos proporciona información sobre su estructura y grupos funcionales que se van a identificar mediante la frecuencia de cada espectro de bandas, en estas graficas se han retirado los espectros correspondientes al agua y oxígeno.

Los grupos funcionales se han asociado de acuerdo con la experiencia de algunos autores como: Lei, et al. (2018), Lerma Garcia, Ramis Ramos, Herrero Martinez, & Simon Alfonso (2010), Santos y otros (2020) y Rohman & Che Man (2010).

En la figura 14 se muestra el espectro FTIR de la mezcla de aceites AM-100AA

Figura 14

M1: AM-100AA



En la tabla 7 se muestran las frecuencias, intensidad, grupo funcional y modo vibracional del espectro FTIR correspondiente a la mezcla de aceites de AM-100AA

Tabla 7

Frecuencia, intensidad y grupo funcional para la muestra AM-100AA

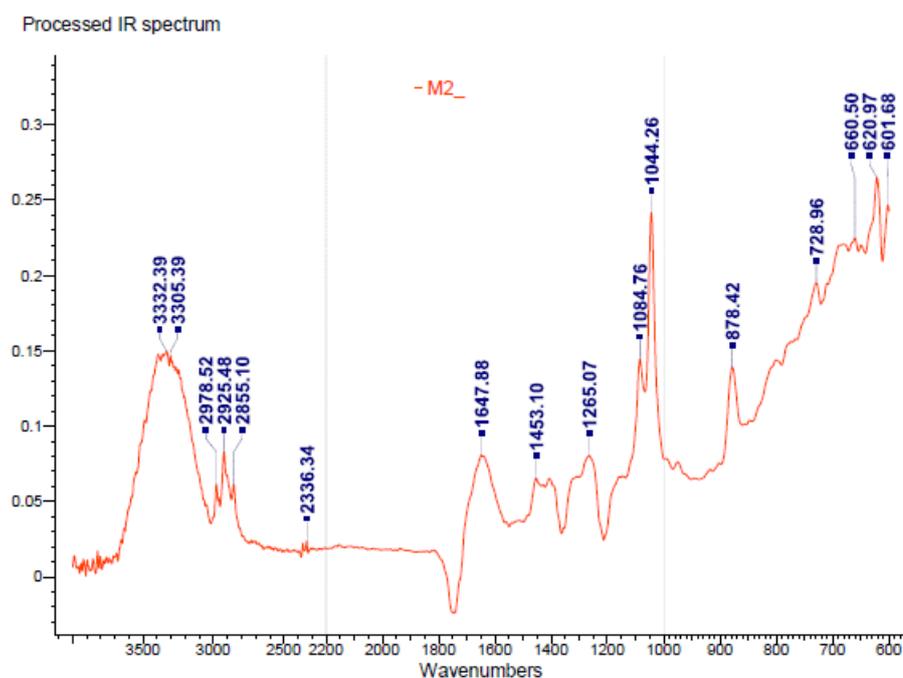
Frecuencia FTIR (cm ⁻¹)	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
3376,75	496,38	R-OH	Estiramiento
3335,28	486,95	R-OH	Estiramiento
3289,00	470,33	R-OH	Estiramiento
2977,55	184,61	CH ₂	Extensión, asimétrico
2926,45	245,82	CH ₂	Extensión, asimétrico
2857,02	159,99	CH ₂	Extensión, simétrico
1644,02	111,79	C=C	Extensión, cis, instauración
1452,14	85,67	CH ₂	Flexión deformación tijera
1378,85	84,11	CH ₃	Flexión, simétrico

1083,80	130,05	C-O	Extensión, simétrico
1044,28	219,29	C=O	Extensión, carbonil ester
878,42	105,41	(CH ₂) n	Flexión afuera
806,10	96,73	(CH ₂) n	Flexión afuera

En la figura 15 se muestra el espectro FTIR de la mezcla de aceites 25AM-75AA

Figura 15

M2: 25AM-75AA



En la tabla 8 se muestran las frecuencias, intensidad, grupo funcional y modo vibracional del espectro FTIR correspondiente a la mezcla de aceites de 25AM-75AA

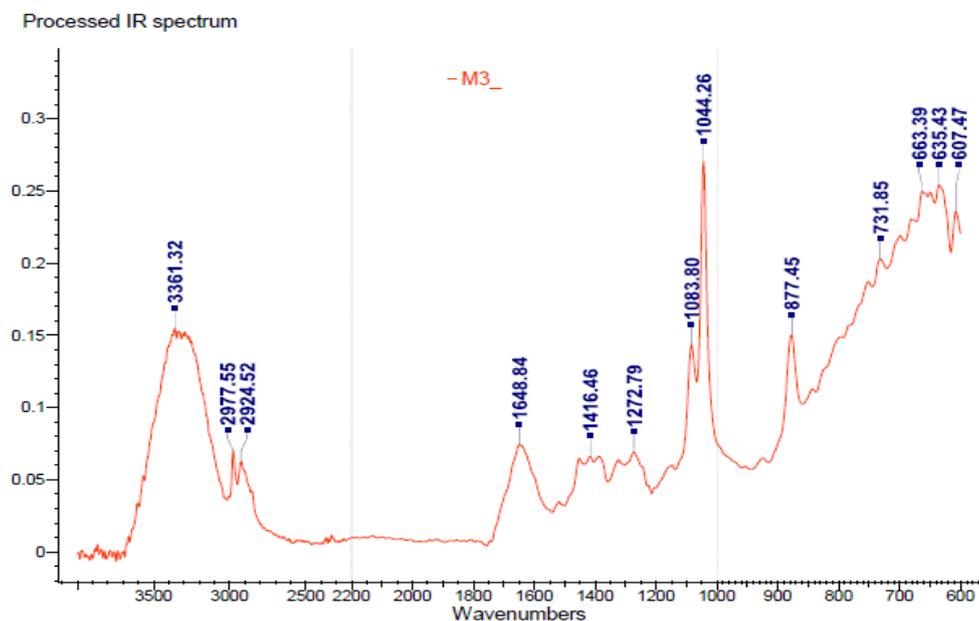
Tabla 8*Frecuencia, intensidad y grupo funcional para la muestra 25AM-75AA*

Frecuencia FTIR (cm ⁻¹)	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
3332,39	496,53	R-OH	Estiramiento
3305,39	482,59	R-OH	Estiramiento
2978,52	181,69	CH ₂	Extensión, asimétrico
2925,48	242,81	CH ₂	Extensión, asimétrico
2855,10	174,16	CH ₂	Extensión, asimétrico
2336,34	56,07	CH ₃	Extensión, simétrico
1647,88	133,48	C=C	Extensión, cis, instauración
1453,10	94,45	CH ₂	Flexión deformación tijera
1084,76	144,59	C-O	Extensión, simétrico
1044,26	250,62	C=O	Extensión, carbonil ester
878,42	121,22	(CH ₂) _n	Flexión afuera

En la figura 16 se muestra el espectro FTIR de la mezcla de aceites 50AM-50AA

Figura 16

M3: 50AM-50AA



En la tabla 9 se muestran las frecuencias, intensidad, grupo funcional y modo vibracional del espectro FTIR correspondiente a la mezcla de aceites de 50AM-50AA

Tabla 9

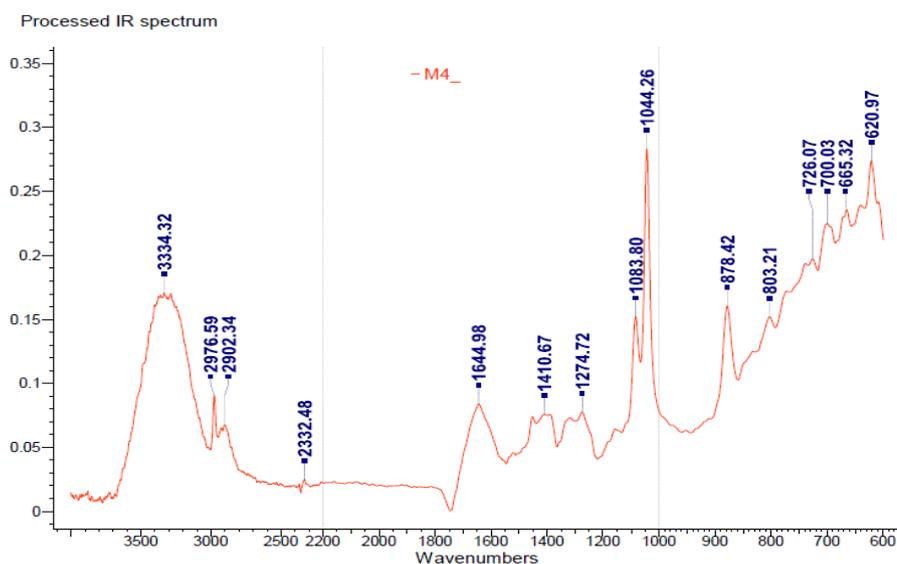
Frecuencia, intensidad y grupo funcional para la muestra 50AM-50AA

Frecuencia FTIR (cm ⁻¹)	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
3361,32	521,00	R-OH	Estiramiento
2977,55	208,43	CH ₃	Extensión, asimétrico
2924,52	184,24	CH ₂	Extensión, asimétrico
1648,84	122,01	C=C	Extensión, cis, instauración
1416,46	94,90	CH ₂	Flexión deformación tijera
1272,79	87,82	CH ₂	Extensión, simétrico
1083,80	154,98	C-O	Extensión, simétrico
1044,26	281,95	C=O	Extensión carbonil éster
877,45	131,62	(CH ₂) _n	Flexión, afuera
731,85	146,37	(CH ₂) _n	Flexión afuera

En la figura 17 se muestra el espectro FTIR de la mezcla de aceites 75AM-25AA

Figura 17

M4: 75AM-25AA



En la tabla 10 se muestran las frecuencias, intensidad, grupo funcional y modo vibracional del espectro FTIR correspondiente a la mezcla de aceites de 75AM-25AA

Tabla 10

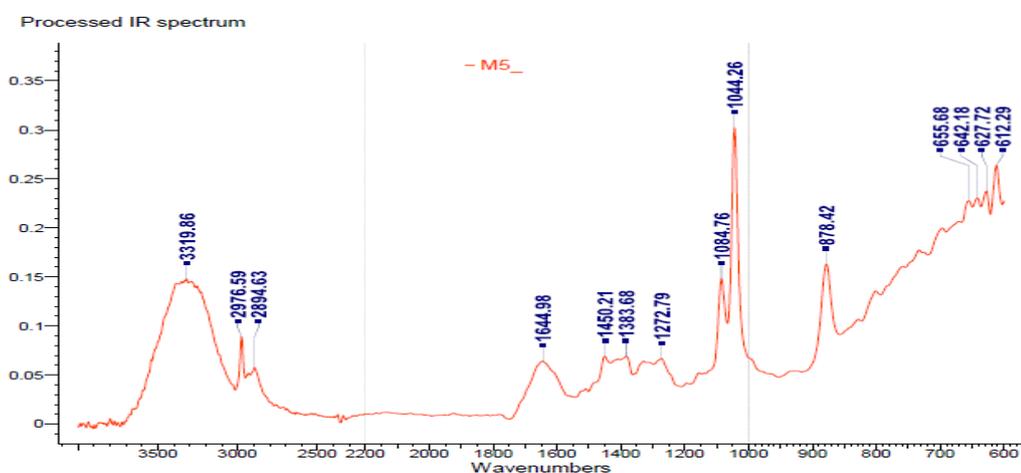
Frecuencia, intensidad y grupo funcional para la muestra 75AM-25AA

Frecuencia FTIR (cm ⁻¹)	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
3334,32	570,17	R-OH	Estiramiento
2976,59	270,87	CH3	Extensión, asimétrico
2902,34	197,36	CH2	Extensión, asimétrico
2332,48	58,08	CH2	Extensión, simétrico
1644,98	138,18	C=C	Extensión, cis, instauración
1410,67	107,21	CH2	Flexión deformación tijera
1274,72	98,15	CH2	Extensión, simétrico
1083,80	164,74	C-O	Extensión, simétrico
1044,26	292,39	C=O	Extensión carbonil ester
878,42	140,55	(CH2) n	Flexión afuera
803,21	120,48	(CH2) n	Flexión afuera
726,07	143,04	(CH2) n	Flexión afuera

En la figura 18 se muestra el espectro FTIR de la mezcla de aceites 100AM-AA

Figura 18

M5: 100AM-AA



En la tabla 11 se muestran las frecuencias, intensidad, grupo funcional y modo vibracional del espectro FTIR correspondiente a la mezcla de aceites de 100AM-AA

Tabla 11

Frecuencia, intensidad y grupo funcional para la muestra 100AM-AA

Frecuencia FTIR (cm ⁻¹)	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
3319,86	491,34	R-OH	Estiramiento
2976,59	264,92	CH ₃	Extensión, asimétrico
2894,63	167,89	CH ₂	Extensión, simétrico
1644,98	105,28	C=C	Extensión, cis, instauración
1450,21	100,06	CH ₂	Flexión deformación tijera
1383,68	95,47	CH ₃	Flexión, simétrico
1272,79	85,28	C=C	Extensión, simétrico
1084,76	160,54	C-O	Extensión, simétrico
1044,26	313,28	C=O	Extensión carbonil ester
878,42	143,18	(CH ₂) _n	Flexión afuera

Los espectros FTIR de las mezclas de aceites mostraron que los picos de altas frecuencias desde 3319 cm⁻¹ hasta 3376 cm⁻¹ corresponden a los grupos hidroxilo incluida el agua (humedad residual de las muestras analizadas), frecuencias desde 3009 cm⁻¹ hasta 2856 cm⁻¹ están relacionados con los grupos funcionales de ácidos carboxílicos, aminas, amidas primarias y secundarias, frecuencias entre 2855 cm⁻¹ hasta 2978 cm⁻¹ se tienen los grupos metino y metileno (dobles enlaces y cadenas alifáticas de los triacilglicerolos) y grupos metilo (metil terminal), bandas entre 1648 cm⁻¹ hasta 1272 cm⁻¹ se caracterizan por ser grupos carbonilo, esteres metílicos, cetonas y aldehídos con frecuencia relacionados con ácidos grasos de cadena larga y en las regiones de baja frecuencia entre 1271 cm⁻¹ hasta 800 cm⁻¹ se tiene grupos de compuestos lipídicos incluyendo dobles enlaces, dienos conjugados, etc.

De las tablas de frecuencia se puede observar que hay una banda característica en la frecuencia $1044,26\text{ cm}^{-1}$ que pertenece al grupo funcional de los ácidos grasos con una intensidad que oscila entre 219,29 y 312,28 y en las gráficas se puede apreciar un pico largo y angosto con una frecuencia de $1044,26\text{ cm}^{-1}$ que nos indica que es un aceite extraído de muestras oleaginosas.

ANALISIS TGA

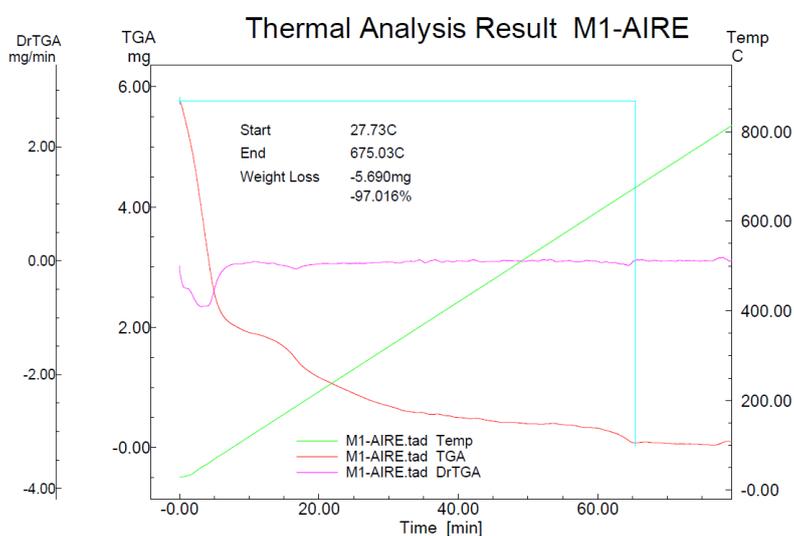
En estas graficas se observa los resultados termogravimétricos de la pérdida de masa relacionados con la perdida de componentes volátiles y a partir de que temperatura empieza la degradación de estas en atmosfera de aire y nitrógeno para así analizar el proceso de descomposición de las muestras de aceite.

Atmosfera de aire

En la figura 19 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite AM-100AA

Figura 19

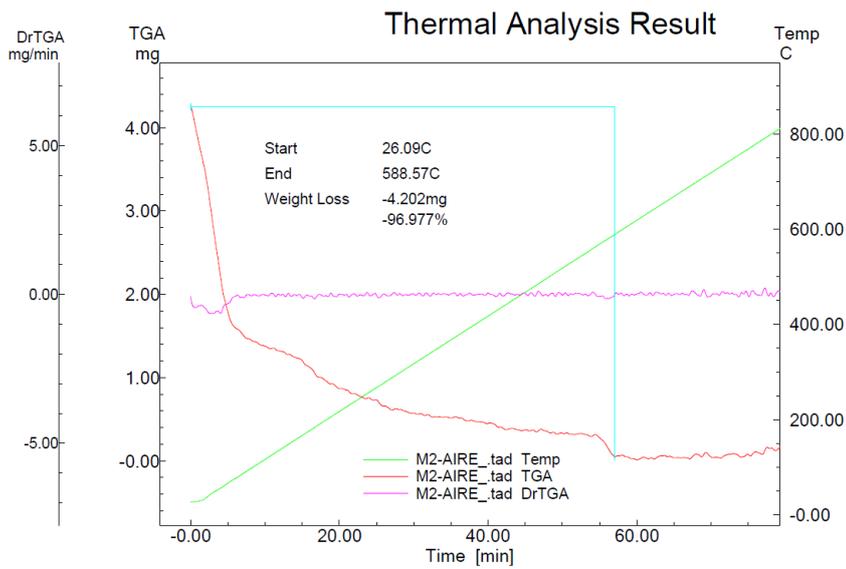
Curvas termogravimétricas en atmosfera de aire a $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ de la mezcla AM-100AA



En la figura 20 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite 25AM-75AA

Figura 20

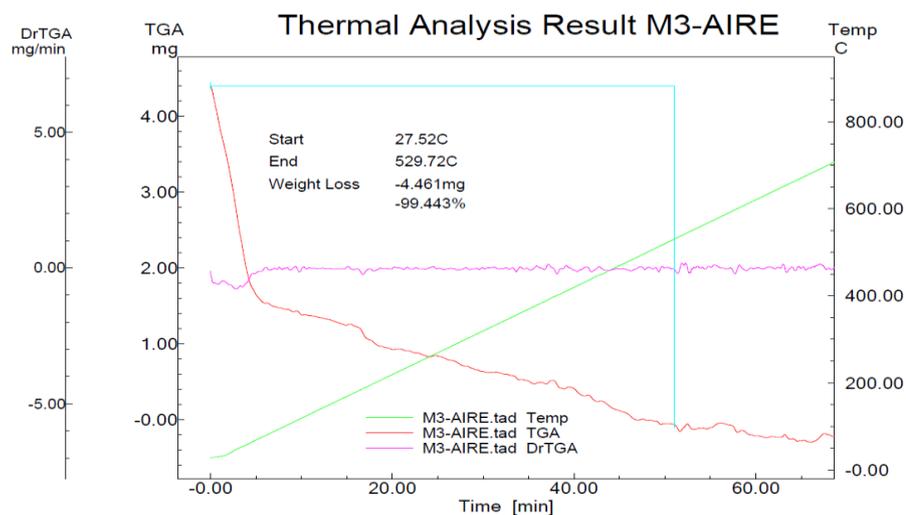
Curvas termogravimétricas en atmosfera de aire a $10^0\text{C}/\text{min}$ de la mezcla 25AM-75AA



En la figura 21 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite 50AM-50AA

Figura 21

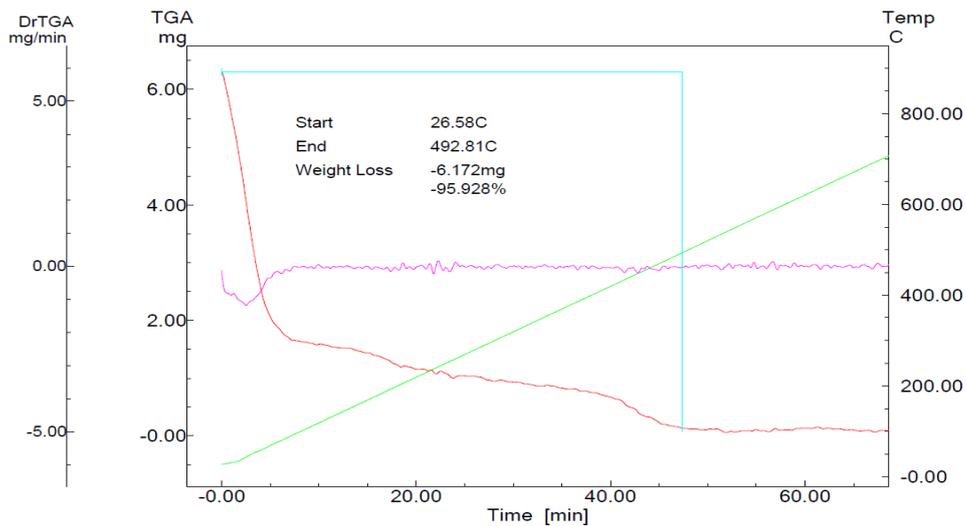
Curvas termogravimétricas en atmosfera de aire a $10^0\text{C}/\text{min}$ de la mezcla 50AM-50AA



En la figura 22 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite 75AM-25AA

Figura 22

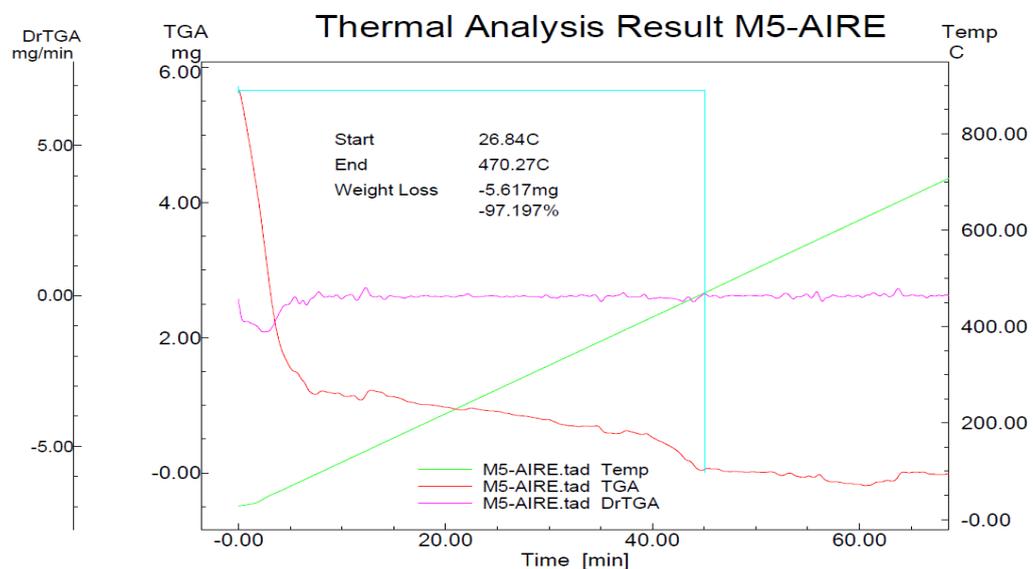
Curvas termogravimétricas en atmosfera de aire a 10⁰C/min de la mezcla 75AM-25AA



En la figura 23 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite 100AM-AA

Figura 23

Curvas termogravimétricas en atmosfera de aire a 10⁰C/min de la mezcla 100AM-AA

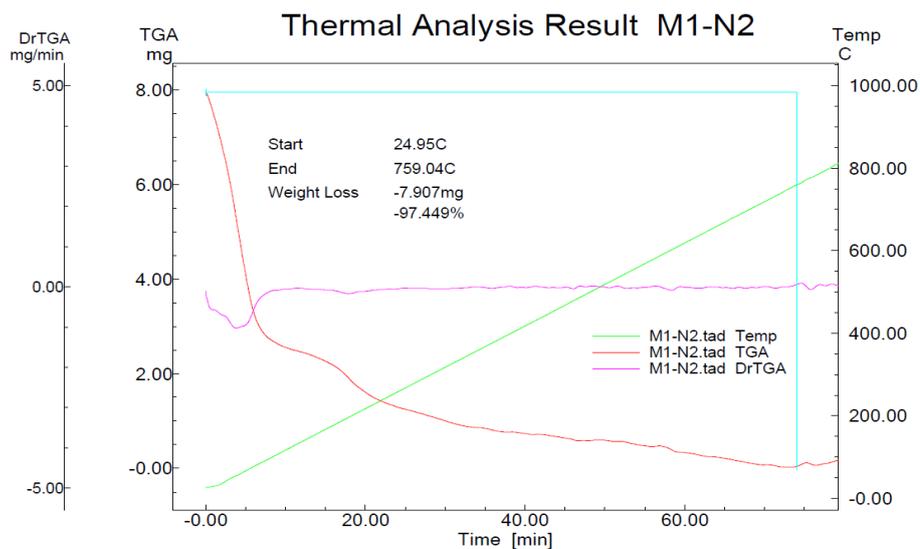


Atmosfera de nitrógeno

En la figura 24 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite AM-100AA

Figura 24

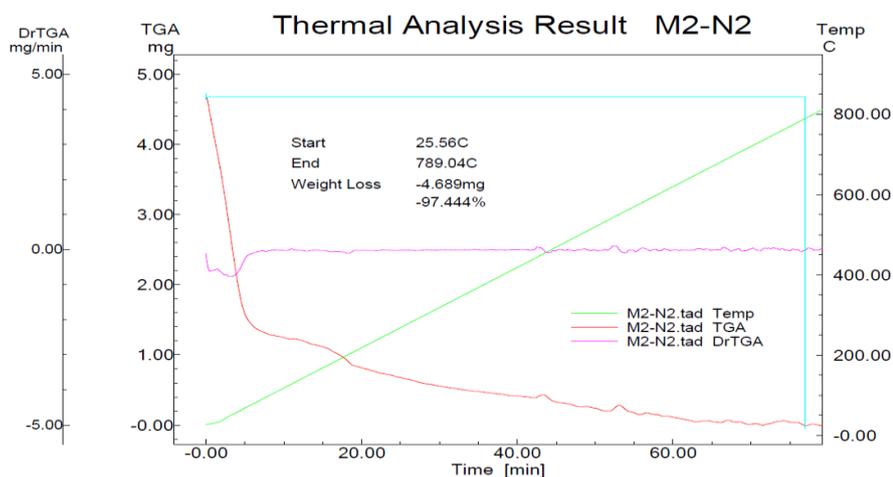
Curvas termogravimétricas en atmosfera de N2 a 10⁰C/min de la mezcla AM-100AA



En la figura 25 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite 25AM-75AA

Figura 25

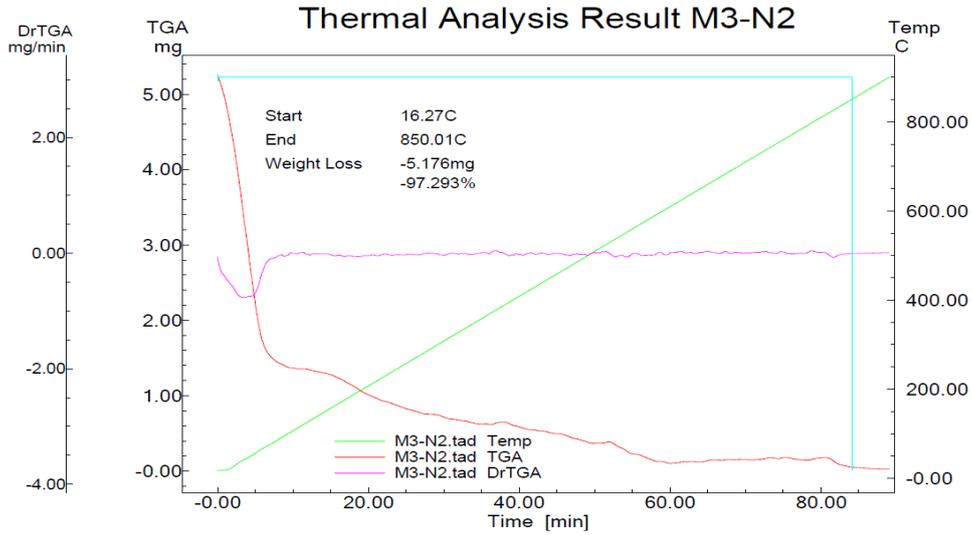
Curvas termogravimétricas en atmosfera de N2 a 10⁰C/min de la mezcla 25AM-75AA



En la figura 26 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite 50AM-50AA

Figura 26

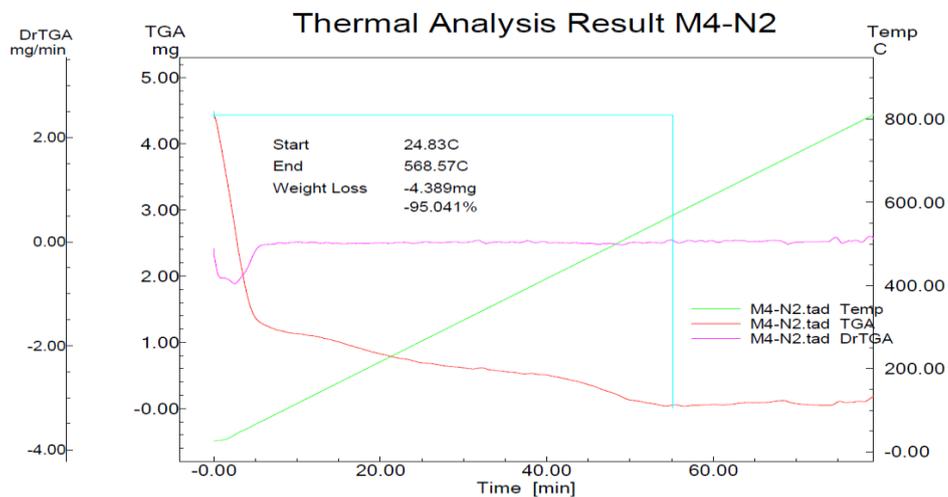
Curvas termogravimétricas en atmosfera de N₂ a 10⁰C/min de la mezcla 50AM-50AA



En la figura 27 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite 75AM-25AA

Figura 27

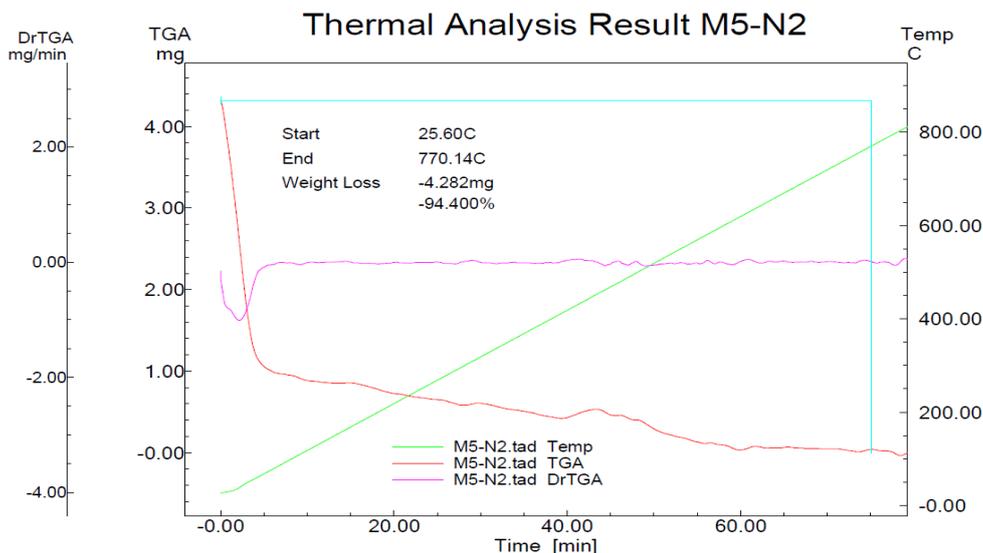
Curvas termogravimétricas en atmosfera de N₂ a 10⁰C/min de la mezcla 75AM-25AA



En la figura 28 se encuentra la curva termogravimétrica mostrándonos el efecto de la temperatura sobre la muestra para la mezcla de aceite 100AM-AA

Figura 28

Curvas termogravimétricas en atmosfera de N₂ a 10⁰C/min de la mezcla 100AM-AA



En la tabla 12 se detallan los datos obtenidos de las curvas termogravimétricas que se dan por la variación de reacciones que ocurren en el calentamiento con diferentes atmosferas para los diferentes tipos de muestras.

Tabla 12

Datos del análisis termogravimétrico de las mezclas de aceite pepa de maracuyá y pepa de aguacate

Muestra	Atmosfera	Temperatura inicial (° C)	Temperatura final (° C)	Masa inicial (mg)	Pérdida masa (mg)	Porcentaje perdida (%)
AM-100AA	Aire	27,73	675,03	5,865	-5,690	-97,016
	Nitrógeno	24,95	759,04	4,812	-7,907	-97,449
25AM-75AA	Aire	26,09	588,57	4,333	-4,202	-96,977
	Nitrógeno	25,56	789,04	4,812	-4,689	-97,444

50AM-50AA	Aire	27,52	529,72	4,486	-4,461	-99,443
	Nitrógeno	16,27	850,01	5,320	-5,176	-97,293
75AM-25AA	Aire	26,58	492,81	6,434	-6,172	-95,928
	Nitrógeno	24,83	568,57	4,618	-4,389	-95,041
100AM-AA	Aire	26,84	470,27	5,779	-5,617	-97,197
	Nitrógeno	25,60	770,14	4,618	-4,282	-94,400

De las pruebas termogravimétricas se puede determinar que los PCM no presentan degradación cuando se exponen a bajas temperaturas, además de que la pérdida de masa desde la temperatura ambiental hasta los 100°C es mucho menor al 2%.

En las figuras se muestran los termogramas obtenidos de las muestras de aceite observándose que la pérdida de peso se da en un solo paso, así tenemos que para las muestras AM-100AA para aire es 97,016% desde 27,73°C hasta 675,03°C y para nitrógeno es 97,449% desde 24,95°C hasta 759,04°C, 25AM-75AA para aire es 96,977% desde 26,09°C hasta 588,57°C y para nitrógeno es 97,444% desde 25,56°C hasta 789,04°C, 50AM-50AA para aire es 99,443% desde 27,52°C hasta 529,72°C y para nitrógeno es 97,293% desde 16,27°C hasta 850,01°C, 75AM-25AA para aire es 95,928% desde 26,58°C hasta 492,81°C y para nitrógeno es 95,041% desde 24,83°C hasta 568,57°C, 100AM-AA para aire es 97,197% desde 26,84°C hasta 470,27°C y para nitrógeno es 94,400% desde 25,60°C hasta 770,14°C. Este porcentaje de pérdida de masa detectada indicaría la presencia de grandes cantidades de materia inorgánica en el aceite que permanece como residuo o ceniza al final del proceso.

Para todos los casos analizados por el TGA se evidencia que el cambio de fase se da muy por debajo de los 100°C, por lo que las muestras analizadas se consideran térmicamente estables y por lo tanto pueden ser utilizadas como sistemas de almacenamiento de energía.

Discusión de Resultados

A partir de los análisis DSC de las gráficas se puede observar que las curvas de fusión antes de 0°C para las mezclas AM-100AA, 50AM-50AA y 100AM-AA presentan un pico endotérmico y para las mezclas 25AM-75AA y 75AM-25AA presentan dos picos endotérmicos pudiéndose deber a la presencia de una cierta cantidad de impurezas presentes en las mezclas, para este caso según Tan & Che Man (2012) se toma la temperatura más alta como la principal. Las temperaturas de fusión en las mezclas de acuerdo con los valores mostrados en la tabla 7 se puede observar que tienen valores bien bajos debiéndose al alto contenido ácidos grasos poliinsaturados según Rasta & Suamir (2018).

La curva de fusión del DSC para la pepa de aguacate en el caso de Reyes (2020) muestra un rango de -24,2°C a 14,4°C y en la investigación desde un rango de -26,39°C (es similar) a 131,25°C, por lo que en la investigación de Evelyn Reyes concluye que puede utilizarse como PCM para almacenamiento de energía en frío. En el caso de las pepas de maracuyá la investigación realizada por Santos, y otros, (2020) la temperatura de fusión es -18,8°C y en la investigación es -57,82°C estas son temperaturas bien bajas, pudiéndose también concluir que se puede utilizarse como PCM para bajas temperaturas.

Los calores latentes de las mezclas no presentaron valores altos; así tenemos que para la mezcla 25AM-75AA el calor latente es de 40,01J/g, 50AM-50AA el calor latente es de 15,97J/g, 75AM-25AA el calor latente es de 20,92J/g en comparación con otros PCM utilizados para baja temperatura, pero se puede hacer un estudio para estas mezclas añadiendo agua para incrementar sus entalpías tal como en los estudios realizados por Rasta (2018) que obtiene entalpías de más 3 o 5 veces mayor a la entalpía de cambio de fase que la del PCM investigado pero su aplicación va a temperaturas entre -1°C a 5°C. Mientras que para la pepa de aguacate el calor latente de fusión es de 73,96 J/g, el valor obtenido por el de Reyes (2020) es de 52,93 J/g y el de pepa de maracuyá el calor latente de fusión es de 12,96 J/g y el calor

latente de fusión del aceite de semilla de tamarindo según Chacon-Fernandez (2019) es 20,26 J/g, las diferencias entre estos datos se puede deber a la falta de uniformidad de las técnicas analíticas utilizadas en el análisis cualitativo o cuantitativo pero la discrepancia no es mucha. Al analizar los calores latentes de fusión del aceite de pepa de aguacate es mayor al del aceite de maracuyá debido al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados que tiene el aceite de maracuyá, de esto podriamos decir que a mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados menor calor latente de fusión y en las mezclas de estos aceites se puede apreciar que a mayor cantidad de aceite de pepa de aguacate el calor latente de fusión es más alto con respecto al calor latente de fusión del aceite de semillas de maracuyá.

Los candidatos que pueden considerarse como PCM para almacenamiento térmico a bajas temperaturas porque presentan mayor calor latente de fusión son: AM-100AA con calor latente de fusión de 73,96 J/g y 25AM-75AA con un calor latente de fusión de 40,01J/g.

En el análisis FTIR al realizar una comparación de los valores con el trabajo de Castorena, Rojas, Delgado, & Robles, (2011) sobre el aceite de pepa de aguacate se encuentran que son similares como por ejemplo los picos de absorción entre 3800 cm^{-1} hasta 2800 cm^{-1} hay bandas comunes de los aceites las cuales son muy parecidas a las encontradas en la investigación como las amidas (proteínas) en las bandas 3300 cm^{-1} y 3800 cm^{-1} asignadas a las vibraciones de extensión N-H o en la banda 3007 cm^{-1} asignada a vibraciones de extensión de los alquenos presentes en las cadenas grandes del aceite. En el cuadro 2 de Castorena hay similitudes en la frecuencia de 1651 cm^{-1} con una insaturación C=C extensión mientras que en la investigación se encuentra en la frecuencia 1644 cm^{-1} insaturación C=C extensión, lo mismo en la frecuencia 1095 cm^{-1} de Castorena y 1084 cm^{-1} de la investigación presentan una extensión simétrica C-O. De esta forma se muestra la estabilidad química del material en sus diferentes composiciones al no presentar elementos que posean inestabilidad.

Del análisis termogravimétrico de las muestras se puede observar que la descomposición en el perfil termogravimétrico se da en dos pasos tanto para atmósfera con aire el proceso de descomposición se produce por combustión y para atmósfera inerte la termo descomposición ocurre por pirólisis. En la primera etapa de descomposición están los ácidos grasos poliinsaturados como los ácidos linoleico, linolénico y compuestos volátiles eliminándose mediante el vapor producido en el proceso de calentamiento y en la segunda etapa de descomposición se volatilizan los triglicéridos principalmente compuestos por ácidos grasos monoinsaturados. En el aceite de pepa de aguacate según Reyes (2020) la descomposición se realiza sobre los 100^0 C y en un solo paso mientras que en la investigación la descomposición se realiza en un promedio de 25^0 C y para la pepa de maracuyá según Chacón (2019) la descomposición inicia a $345,2^0$ C pudiéndose deber la gran discrepancia entre las muestras a la contaminación del producto o degradación en el proceso.

Los PCM procedentes de materiales de desecho proporcionarán un desarrollo para posibles sustitutos de materiales de PCM y producir materias primas más baratas, instaurando así un sentido más ecológico en la gestión de residuos solucionando en gran parte la reducción de desechos en vertederos y ríos logrando así disminuir la emanación de gases de efecto invernadero.

CONCLUSIONES

- El estudio de esta investigación nos permite concluir que el alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados presentes en estos aceites no garantiza un alto valor de entalpías de fusión tal como se puede observar del análisis DSC que la entalpia de fusión del aceite de semillas de maracuyá con un alto valor de ácidos grasos poliinsaturados es $12,96$ J/g y el de pepa de aguacate con un porcentaje menor de ácidos grasos poliinsaturados es $73,96$ J/g.

- A partir del análisis térmico se puede concluir que las mezclas de los aceites de AM-100AA con una temperatura de fusión de $-26,39^{\circ}\text{C}$, 25AM-75AA con temperatura de fusión de $-39,05^{\circ}\text{C}$, 50AM-50AA con temperatura de fusión de $-58,06^{\circ}\text{C}$, 75AM-25AA con temperatura de fusión de $-33,97^{\circ}\text{C}$ y 100AM-AA con temperatura de fusión de $-57,82^{\circ}\text{C}$ tienen temperaturas de fusión muy bajas debido al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, proporcionándole a estas mezclas de aceites una característica líquida a temperatura ambiente.
- Con respecto a sus propiedades térmicas se seleccionaron como posibles candidatos a PCM por sus entalpías altas a las mezclas de aceite AM-100AA con rangos de temperatura entre $-45,54^{\circ}\text{C}$ a $-12,5^{\circ}\text{C}$, entalpía de fusión de $73,96\text{ J/g}$ y 25AM-75AA con rangos de temperatura entre $-46,83^{\circ}\text{C}$ a $-21,87^{\circ}\text{C}$, entalpía de fusión de $40,01\text{ J/g}$; dándole uso para aplicaciones a baja temperatura.
- Las mezclas de los aceites a mayor cantidad de aceite de pepa de aguacate presentaron un valor alto de entalpía de fusión con respecto a la entalpía de fusión del aceite de semilla de maracuyá.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer una simulación computacional del material caracterizado ya que este nos permite imitar el comportamiento del material en el mundo real con el propósito de entender su comportamiento como la predicción de su rendimiento térmico y de esta manera evidenciar su potencial aplicativo.
- Ampliar los estudios de los residuos del procesamiento de frutos andinos porque desafortunadamente existe poca o ninguna información sobre sus propiedades físicas, químicas y térmicas lo que dificulta caracterizar como posible PCM; ya que la fabricación de subproductos implicará reducir el impacto ecológico negativo y así identificar alternativas de utilización de estos residuos.

- Hacer estudios para mejorar las entalpías de mezclas de estos aceites ya que en comparación con otros PCM es muy baja, tal como lo hizo Rastra que mejoro sus propiedades al mezclar aceite con agua en diferentes proporciones.

BIBLIOGRAFIA

- Abdul, S., Jamari, S., & Abidin, S. (2020). Waste materials as the potential phase change material substitute in thermal energy storage system: a review. *Chemical Engineering Communications*, 1-21. doi:10.1080/00986445.2020.1715960
- Acuario, K., Chico, A., Martinez, J., Avila, C., Avila, A., & Orozco, M. (2018). Thermal performance enhancement of organic phase change materials using spent diatomite from the palm oil bleaching process as support. *Construction and Building Materials*, 633-642. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.10.148
- Aguirre, F. (2015). *Síntesis y Caracterización de capas Conductoras de Oxido de Grafeno(GO): Propiedades Vibracionales bajo Condiciones Extremas de Presión y Temperatura*. (Tesis de Maestría), Universidad de Cantabria, Laredo.
- Ahmed, M., Meade, O., & Medina, M. (2010). Reducing heat transfer across the insulated walls of refrigerated truck trailers by the application of phase change materials. *Energy Conversion and Management*(51), 383-392. doi:10.1016/j.enconman.2009.09.003
- Alvarado, J., & Sandoval, J. (2018). *Obtención de aceite comestible a partir de la semilla de maracuya*. (Tesis Ingeniería), Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

- Amasifuen, K. (2017). *Perfil de Acidos Grasos de Ankistrodesmus sp., Scenedesmus sp., Chlorella sp. Sometidas a Diferentes Concentraciones de Nitrato*. Tesis Lcdo, Universidad Cientifica del Peru, San Juan.
- Amoros, M. (2011). *Analisis de la viabilidad de Usar Materiales con PCM en Edificacion*. (Tesis Maestria), Universidad Politecnica de Catalunya, Catalunya.
- Badia, J. (2007). *Caracterización Termogravimétrica de las Operaciones de Reprocesado de Politereftalato de Etileno (PET)*. (Tesis Maestria), Universidad Politecnica de Valencia, Valencia.
- Benavente, N. (2018). *Implementacion de un Modelo de Transferecia de Calor A Travez de Ventanas con Materiales de Cambio de Fase y Evaluacion de Impacto en el Desempeño Termico de la Ventana y Espacio de Oficina*. Tesis Ingenieria, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Bistue, M. (2015). *Evaluacion de impacto ambiental mediante analisis de ciclo de vida (ACV) de la incorporacion de materiales de cambio de fase (PCM) en edificacion*. (Tesis ingenieria), Universidad Zaragoza, Zaragoza.
- Bora, P., Narain, N., Rocha, R., & Queiroz, M. (2001). Characterization of the oils from pulp and seeds of avocado . (*cultivar: Fuerte*) fruits. *Grasas y Aceites*, 52(3-4), 171-174.
- Bravo Hidalgo, D. (2018). Una Revision sobre Materiales para Almacenamiento de Energia Solar Termica. *Ingenieria*, 23(2), 144-165. doi:10.14483/23448393.12510
- Cahn, R., & Lifshin, E. (1993). *Concise Encyclopedia of Materials Characterizacion*. Michigan: Pergamon Press.
- Castorena, J., Rojas, M., Delgado, R., & Robles, R. (2011). Analisis de Pulpa de Aguacate con Espectroscopia Infrarroja. *Conciencia Tecnologica*(42), 5-10.

- Cellat, K., Beyhan, B., Gungor, C., Konuklu, Y., Karahan, O., Dundar, C., & Paksoy, H. (2015). Thermal enhancement of concrete by adding bio-based fatty acids as phase change materials. *Energy and Buildings*, 1-8.
- Chacon-Fernandez, M. G., Hernandez-Medel, M. R., Bernal-Gonzalez, M., Duran-Dominguez, M. C., & Solis_Fuentes, J. A. (2019). Composicion, propiedades, estabilidad y comportamiento termico del tamarindo (*tamarindus indica*) aceite de semilla. *Grasas y aceites*, 70(4), 1-10. doi:10.3989/gya.0928182
- Cortez, P. M. (2017). *Espectroscopia de Infrarrojo para Todos*. Jalisco: CIATEJ.
- Das, D., Bordoloi, U., Muigai, H., & Kalita, P. (2020). A novel form stable PCM based bio composite material for solar thermal energy storage applications. *Journal of Energy Storage*, 1-10.
- Dellicompagni, P., Castro, N., Franco, J., Heim, D., Wieprzkowicz, A., Vera, S., & Uribe, D. (2017). Caracterizacion Energetica de Materiales de Cambio de Fase para Uso en Acondicionamiento Edificio. *Avances en Energias Renovables y Medio Ambiente*, 21, 08.23-08.35.
- Dominguez, M., & Garcia, C. (2009). Aprovechamiento de los Materiales de Cambio de Fase (PCM) en la Climatizacion. *SciELO*, 20(4), 107-115.
- Dominguez, M., Garcia, C., & Arias, J. (2008). Los PCM en el transporte de productos perecederos. *Instituto del Frio CSIC*, 1-15.
- Du, K., Calautit, J., Wang, Z., Wu, Y., & Liu, H. (2018). A review of the applications of phase change materials in cooling, heating and power generation in different temperature ranges. *Applied Energy*(220), 242-273. doi:10.1016/j.apenergy.2018.03.005

- Fabiani, C., Pisello, A., Barbanera, M., & Cabeza, L. (2019). Palm oil-based bio-PCM for energy efficient building applications: Multipurpose thermal investigation and life cycle assessment. *Journal of Energy Storage*, 1-14. doi:10.1016/j.est.2019.101129
- Fleischer, A. (2015). *Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials*. (S. I. Publishing, Ed.) Mineapolis.
- Garcia M., J. (2012). *Diseno de una instalacion para la caracterizacion de PCM a altas temperaturas*. (Tesis de Ingenieria Mecanica), Universidad Zaragoza, Zaragoza.
- Granados, Y. (2015). *Importancia De Los Ensayos TGA y DSC en el Estudio de las Propiedades Térmicas de Mezclas Asfálticas (Tesis de Ingenieria)*. Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas, Colombia.
- Hoang, H., Leducq, D., Masia, R., Lagaron, J., Gogou, E., Taoukis, P., & Alvarez, G. (2014). Heat transfer study of submicro-encapsulated PCM plate for food packaging application. *Science Direct*(30), 1-10. doi:10.1016/j.ijrefrig.2014.07.002
<http://www.rubitherm.eu/en/applications.html>. (2016).
- Hyun, D., Levinson, N., Jeong, U., & Xia, Y. (2014). Emerging Applications of Phase Change Materials (PCM): Teaching an Old Dog New Tricks. *Angewandte International Edition Chemie*, 53(15), 3780-3795.
- Lasanta, M. (2013). *Estudio de Adiciones de Bismuto en Aleaciones Zinc-Aluminio*. (Tesis Doctoral), Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Lei, M., Jiang, F., Cai, J., Hu, S., Zhou, R., Wang, Y., . . . Xiong, X. (2018). Facile microencapsulation of olive oil in porous starch granules: Fabrication, characterization, and oxidative stability. *International Journal of Biological Macromolecules*, 755-761. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.01.051

- Lerma Garcia, M., Ramis Ramos, G., Herrero Martinez, J., & Simon Alfonso, E. (2010). Authentication of extra virgin olive oils by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 78-83. doi:10.1016/j.foodchem.2009.04.092
- Liang, J., Zhimeng, L., Ye, Y., Yanjun, W., Jingxin, L., & Changlin, Z. (2018). Fabrication and characterization of fatty acid/wood-flour composites as novel form-stable phase change materials for thermal energy storage. *Energy and Building*. doi:10.1016/j.enbuild.2018.04.044
- Lobera, S. (2020). *Almacenamiento Interestacional de Energia Termica*. (Tesis de Arquitectura), Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.
- Lopez Ortega, M. (2016). *Estudio Termoquimico del Anhidrido 3-Hidroxifitalico*. Maestria, Universidad Autonoma de Puebla, Puebla.
- Masia, R., Rubio, A., & Lagaron, J. (2013). Development of zein-based heat-management structures for smart food packaging. *Food Hydrocolloids*(30), 182-191. doi:10.1016/j.foodhyd.2012.05.010
- Mondal, S. (2008). Phase change materials for smart textiles-An overview. *Applied Thermal Engineering*, 28, 1536-1550.
- Mondieig, D., Rajabalee, F., Laprice, A., Oonk, H., Calvet, T., & Cuevas, M. (2003). Protection of temperature sensitive biomedical products using molecular alloys as phase change material. *Transfusion and Apheresis Science*(28), 143-148. doi:10.1016/s1473-0502(03)00016-8
- Moreno, J. (2013). *Caracterizacion de Materiales de Cambio de Fase para su Aplicacion en revestimientos y Acabados*. (Tesis Ingenieria), Universidad de Cataluna , Barcelona.

- Moscoso, M. (2016). *Aplicación de los Materiales de Cambio de Fase en el Mobiliario Interior como Reguladores de Temperatura*. (Tesis Maestría), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Nassau, R., & Goncalves, L. (1999). <https://doi.org/10.3989/gya.1999.v50.il.630>.
- Ochoa, A. (2016). *Evaluación de Parafina Comercial como Material Cambio de Fase para Almacenamiento de Energía*. Tesis Magister, Universidad Libre, Bogotá.
- Okogeri, O., & Stathopoulos, V. (2021). What about greener phase change materials? A review on biobased phase change materials for thermal energy storage applications. *International Journal of Thermofluids*, 10, 1-12.
- Oliver, A. (2009). *Integración de Materiales Cambio de Fase en Placas de Yeso Reforzadas con Fibras de Polipropileno*. (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Oliver, A., Neila, F., & Garcia, A. (2012). Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica. *Materiales de Construcción*, 62(305), 131-140.
- Orozco, M., Martínez, J., Chico, A., & Acuario, K. (2018). Production and characterization of nitrates as phase change materials to evaluate their energy storage ability. *Revista Técnica Energía*(14), 224-235. doi:10.37116/revistaenergia.v14n1.2018.175
- Peñalosa, M. (2016). *Avances en Determinación de Propiedades Termofísicas de Materiales de Cambio de Fase: Búsqueda y Análisis de Nuevos Materiales PCM-TES de Bajo Coste*. Tesis Doctoral, Universidad Zaragoza, Zaragoza.

- Perez, R. (2018). *Optimización de la temperatura de Cambio de fase en PCM para Refrigeracion en Modulos Fotovoltaicos en Funcion de las condiciones Climaticas*. (Tesis Ingenieria) , Universidad de Sevilla , Sevilla .
- Prubner, K., Pingel, K., Dressel, H., Becker, J., Reiner, C., Schlosser, M., & Christ, H. (2001). La enseñanza de Tecnicas de Caracterizacion de Materiales. *Journal of Materials Education*, 23(1-3), 105-111.
- Rasta, I., & Suamir, I. (2018). The role of vegetable oil in water based phase change materials for medium temperature refrigeration. *Journal of Energy Storage*, 15, 368-378. doi:10.1016/j.est.2017.12.014
- Rendon, W., Chavez, G., & Torrico, D. (2013). Evaluacion Quimica del Aceite de Oenocarpus Bataua "Aceite de Majo". *Revista Boliviana de Quimica*, 30(1), 70-73.
- Reyes, E. (2020). *Caracterizacion y uso del Aceite de Pepa de Aguacate como Material de Cambio de Fase para la Mejora de Eficiencia Energetica en el Almacenamiento en Frio*. (Tesis Maestria), Universidad Internacional SEK, Quito.
- Rodriguez U., E. (2015). *Almacenamiento de Energia Termica por Calor Latente en los Edificios: bases para la Optimizacion de Aplicaciones Pasivas, Opacas y Traslucidas*. (Tesis Doctoral), Unuversidad Politecnica de Madrid, Madrid.
- Rohman, A., & Che Man, Y. (2010). Fourier transform infrared (FTIR) Spectroscopy for analysis of extras virgin olive oil adulterated with palm oil. *Food Research International*, 43, 886-892. doi:10.1016/j.foodres.2009.12.006
- Rohman, A., Che Man, Y., Hashim, P., & Ismail, A. (2011). FTIR Spectroscopy combined with chemometrics for analysis of lard adulteration in some vegetable oils. *CyTA- Journal of Food*, 9(2), 96-101. doi:10.1080/1947633100300774639

- Rozanna, D., Chuah, T., Salmiah, A., Choong, T., & Sa'ari, M. (2004). Fatty Acids as Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage: A Review. *International Journal of Green Energy*, 1(4), 495-513. doi:10.1081/GE.200038722
- Rozanna, D., Salmias, A., Choong, T., & Sa'ari, M. (2006). Fatty Acids as Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage: A Review. *International Journal of Green Energy*, 1(4), 495-513.
- Santos, O., Vieira, E., Soares, S., Conceicao, L., Nascimento, F., & Texeira-Costa, B. (2020). Utilization of agroindustrial residue from passion fruit (*Passiflora edulis*) seeds as a source of fatty acids and bioactive substances. *Food Science and Technology*, 1-8. doi:10.1590/fst.16220
- Sarabia, D. (2020). *Análisis del uso de materiales con cambio de fase en la envolvente térmica de una vivienda*. (Tesis Maestria), Universidad de Concepcion, Concepcion .
- Sastre, R. (2019). *Almacenamiento de Frio mediante Materiales de Cambio de Fase (PCM) en la Instalacion de Climatizacion de un Edificio Administrativo Singular*. (Tesis Ingenieria), Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Serrano, G. (2015). *Obtencion y caracterizacion de Mezclas de Polipropileno y Cera Parafina para su Aplicacion en PCM*. (Tesis Ingenieria Ingenieria Industrial), Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Skoog, D., Holler, J., & Crouch, S. (2008). *Principios de Analisis Instrumental*. Mexico: Cengage Learning Editores.
- Socoli, J. A. (2017). *Estudio sobre la incorporacion de materiales de cambio de fase en elementos constructivos*. Tesis Ingenieria, Universidad de Vigo, Madrid.

- Solis-Fuentes, J., & Duran-de-Bazua, M. (2004). Mango seed uses: thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. *Bioresource Technology*, 92, 71-78. doi:10.1016/j.biortech.2003.07.003
- Sutrisno, T., Anggono, W., Suprianto, F., Santosa, C., Suryajaya, M., & Gotama, G. (2019). Experimental Investigation of Avocado Seed Oil Utilization in Diesel Engine Performance. *E3S Web of Conferences*(130), 1-10. doi:10.1051/e3sconf/201913001030
- Tan, C., & Che Man, Y. (2012). Differential Scanning Calorimetric Analysis of Edible Oils: Comparison of Thermal Properties and Chemical Composition. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 77(2), 143-156.
- Velez, C. (2018). *Conductividades térmicas de sistemas con cambio de fase: nano-fluidos y nano compuestos*. Tesis Doctoral, Universidad Complutecen de Madrid, Madrid.
- Vidal, B. (2007). *Modelizacion del Cambio de Fase Solido Liquido. Aplicacion a Sistemas de Acumulacion de Energia Termica*. (Tesis Doctoral), Universidad Politecnica de Cataluna, Barcelona.
- Wan, Y.-c., Chen, Y., Cui, Z.-x., Ding, H., Gao, S.-f., Han, Z., & Gao, J.-k. (2019). A promising form-stable phase change material prepared using cost effective pinecone biochar as the matrix of palmitic acid for thermal energy storage. *Scientific Reports*, 9. doi:10.1038/s41598-019-47877-z
- Wen, R., Zhang, X., Huang, Z., Fang, M., l, l, . . . Huang, S. (2018). Preparation and thermal properties of fatty acid/diatomite form-stable composite phase change material for thermal energy storage. *Solara Energy Materials and Solar Cells*, 178, 273-279. doi:10.1016/j.solmat.2018.01.032

Yuan, Y., Zhang, N., Tao, W., Cao, X., & He, Y. (2014). Fatty acids as phase change materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 482-498.

doi:10.1016/j.rser.2013.08.107

Zhou, D., Zhou, Y., Yuan, J., & Liu, Y. (2020). Palmitic Acid-Stearic Acid/Expanded Graphite as Form-Stable Composite Phase-Change Material for Latent Heat Thermal Energy Storage . *Journal of Nanomaterials*, 2020, 1-9. doi:10.1155/2020/1648080