

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA – AUTOMOTRIZ

Caracterización del Aceite de Semilla de Aguacate en Base de Agua para Aplicaciones de  
Material de Cambio de Fase a Baja Temperatura

Axel Emanuel Zambrano Cárdenas

Notas de Autor

Axel Emanuel Zambrano Cárdenas, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas,  
Universidad Internacional SEK

Director: Ing. Javier Martínez Gómez, PhD

Lector: Ing. Diana Belén Peralta Zurita, M. Sc

Lector: Ing. Jaime Molina, M. Sc

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

[Azambrano.mec@uisek.edu.ec](mailto:Azambrano.mec@uisek.edu.ec)

## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, AXEL EMANUEL ZAMBRANO CÁRDENAS, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 0930757026, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



-----

AXEL EMANUEL ZAMBRANO CÁRDENAS

C.I.: 0930757026

## **DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS**

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

-----

PhD. Javier Martínez Gómez

**LOS PROFESORES INFORMANTES:**

M.Sc. Diana Belén Peralta Zurita

M.Sc. Jaime Vinicio Molina Osejos

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

---

Ing. Diana Belén Peralta Zurita

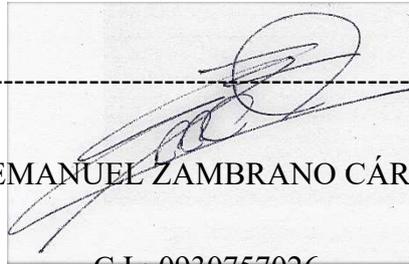
---

Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos

Quito, 27 de Julio de 2022

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Axel Emanuel Zambrano Cárdenas', is written over a horizontal dashed line. The signature is contained within a rectangular box.

AXEL EMANUEL ZAMBRANO CÁRDENAS

C.I.: 0930757026

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermano, quienes me han apoyado durante tantos años, que me permitieron llegar hasta donde estoy.

A mis maestros, que, gracias a su paciencia y esfuerzo, he logrado obtener conocimientos y experiencias que me sirvieron, sirven y servirán hasta el final de mis días.

A los ingenieros Danny Sinche y Lino Arisqueta, que prestaron su ayuda y fueron una guía valiosa para la elaboración de este trabajo, sin ellos, esta investigación no hubiera sido exitosa.

A la Universidad Internacional SEK por permitirme cursar esta carrera, la que me permitió conocer a mis compañeros y amigos y me permitió obtener los conocimientos, experiencia y madurez que hoy me llevo.

A los investigadores del Instituto de Investigación Geológico y Energética, por su ayuda en los ensayos realizados para la tesis.

# INDICE

## Índice

DECLARACIÓN JURAMENTADA.....	2
DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
INDICE.....	7
INDICE DE FIGURAS.....	9
INDICE DE TABLAS.....	10
INDICE DE ECUACIONES.....	10
INDICE DE REFERENCIAS.....	11
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
1. Introducción.....	15
1.2 Planteamiento del Problema.....	18
1.3 Hipótesis.....	20
1.4 Objetivos.....	20
General.....	20
Específicos.....	20
2. Estado del Arte.....	21
2.1 Almacenamiento de Energía.....	21
2.1.1 Estado Energético Primario:.....	23
2.1.2 Estado Energético Secundario:.....	23
2.3 Beneficios.....	24
2.4 Almacenamiento Térmico.....	24
2.4.1 Calor Sensible.....	25
2.4.2 Calor termoquímico.....	25
2.4.3 Calor Latente.....	26
2.5 Materiales de Cambio de Fase.....	28
2.5.1 Características de los Materiales de Cambio de Fase.....	28
2.5.2 Clasificación de los Materiales de Cambio de Fase.....	29
2.6 Mejoras en la Eficiencia Energética con el uso de PCMs.....	34
2.7 Uso de Aceites Vegetales como Materiales de Cambio de Fase.....	34
2.7.1 Ácidos Grasos presentes en los aceites orgánicos.....	35
2.7.2 Estudios de PCM con otros compuestos Orgánicos.....	36
2.7.3 Porque el uso de la Semilla de Aguacate.....	37
2.7.4 Componentes en la semilla de aguacates ideales para PCMs.....	37
2.7.5 Emulsiones de aceite vegetal-agua como materiales PCM.....	41
2.8 Fenómeno de Nucleación.....	42
2.9 Métodos de Extracción de Elementos Esenciales Orgánicos.....	43

2.9.1 Soxhlet .....	43
2.9.2 Método Clásico .....	45
2.9.3 Prensado en Frío .....	45
2.9.4 Maceración en Frío .....	45
2.10 Simulación Computacional y su importancia para Materiales PCM.....	46
2.10.1 Simulación de Materiales PCM .....	46
2.12 Caracterización de Materiales .....	47
2.13 Métodos de Caracterización .....	47
2.13.1 Espectroscopia Infrarroja por Derivada de Fourier (FTIR).....	47
2.13.2 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) .....	47
2.13.3 Termogravimetría (TGA).....	48
2.14 Materiales.....	49
2.14.1 Solvente .....	49
3. Metodología.....	49
3.1 Tipo de Estudio .....	49
3.2 Modalidad de Investigación .....	50
3.3 Obtención de Muestras.....	51
3.4 Justificación del uso de Disolvente .....	51
3.5 Justificación del Uso de Método de Extracción .....	51
3.6 Preparación de Muestras Agua-Aceite .....	54
3.7 Calorimetría Diferencial (DSC) .....	55
3.8 Espectroscopia Infrarroja (FTIR) .....	55
3.9 Termogravimetría (TGA).....	56
3.10 Cálculo de Conductividad Térmica y Calor Específico .....	56
3.11 Simulación Computacional .....	58
3.11.1 Justificación del rango de Temperaturas para la Simulación Computacional.....	58
3.11.2. Descripción de la Simulación.....	59
3.11.3. Modelamiento 3D del Contenedor de transporte y/o almacenamiento .....	63
3.11.4 Crear un estudio Térmico en Inventor CFD.....	64
3.11.5 Ingreso de Material .....	64
3.11.6 Ingreso de Datos Para ambiente Virtual Inventor CFD .....	66
4. Resultados y Discusión de Resultados.....	69
<b>4.1</b> Contenido Acuoso Extraído de las Semillas de Aguacate.....	69
4.2 Comparación entre Diferentes Disolventes .....	70
4.3 Ensayos Térmicos y Químicos.....	71
4.3.1 Calorimetría Diferencial (DSC) .....	71
4.3.2 Espectroscopia Infrarroja (FTIR).....	75
4.3.3 Termogravimetría (TGA).....	81
4.3.4 Simulación en Ambiente Virtual.....	84
4.4 Discusión de Resultados.....	91

4.4.1	Calorimetría Diferencial de Barrido.....	91
4.4.2	Espectroscopía Infrarroja por derivada de Fourier (FTIR).....	94
4.4.3	Termogravimetría (TGA).....	95
4.4.4	Simulación Computacional en Inventor CFD .....	97
5.	Conclusiones.....	98
6.	Recomendaciones .....	99
7.	Bibliografía.....	101
8.	Referencias.....	114

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Estudios de Materiales Cambios de Fase por año .....	18
Figura 2:	Estudio de materiales de cambio de fase por país a) nivel mundial. b) Latinoamérica .....	19
Figura 3:	Escalas típicas de tiempo, tamaño y capacidad asociadas con tecnologías de almacenamiento energético .....	22
Figura 4:	Tanques de una extractora de Crudo y Gas Natural en Cushing, Oklahoma, Estados Unidos .....	23
Figura 5:	Proceso de almacenamiento (proceso endotérmico) y descarga (proceso exotérmico) termoquímica reversible .....	26
Figura 6:	Almacenamiento de calor como calor latente para el caso de cambio de fase sólido-líquido. ....	27
Figura 7:	Clasificación de los rangos de trabajo y tipos de trabajo para materiales PCMs .....	30
Figura 8:	Soluciones típicas de PCMs incorporados en refrigeradores domésticos: a) EN el evaporador; b) dentro del contenedor; c) A lado del condensador .....	30
Figura 9:	Clasificación de los materiales de cambio de fase (PCMs). (E. Reyes, 2020) .....	32
Figura 10:	Cadena de Ácido Graso .....	35
Figura 11:	Partes del Extractor Soxhlet .....	44
Figura 12:	Esquema de Termobalanza .....	48
Figura 13:	Diagrama de Procesos de la Investigación .....	50
Figura 14:	Partes y Ensamble de un Extractor Soxhlet .....	52
Figura 15:	Prensado en Frio .....	53
Figura 16:	Extracción por Macerado de Semillas de Aguacate .....	53
Figura 17:	Desensamble de Caja para Simulación .....	63
Figura 18:	Ventana de Propiedades de un Elemento en Inventor CFD .....	65
Figura 19:	Modificación de Propiedades del Material en Inventor CFD .....	65
Figura 20:	Ingreso de Datos de Frontera .....	67
Figura 21:	Configuración de Mallado .....	68
Figura 22:	Características de Mallado .....	68
Figura 23:	DSC WO-10ml .....	71
Figura 24:	DSC WO-75ml .....	72
Figura 25:	DSC WO-5ml .....	73
Figura 26:	DSC WO-2.5ml .....	73
Figura 27:	Espectro FTIR para muestra WO-10 .....	75
Figura 28:	Espectro FTIR para muestra WO-7.5 .....	76
Figura 29:	Espectro FTIR para muestra WO-5 .....	76
Figura 30:	Espectro FTIR para muestra WO-2.5 .....	77
Figura 31:	Curvas Termogravimétricas WO-10 en atmósfera de aire y N2 a +10 C° /min .....	82
Figura 32:	Curvas Termogravimétricas WO-7.5 en atmósfera de aire y N2 a +10 C° /min .....	82
Figura 33:	Curvas Termogravimétricas WO-5 en atmósfera de aire y N2 a +10 C° /min .....	82
Figura 34:	Curvas Termogravimétricas WO-2.5 en atmósfera de aire y N2 a +10 C° /min .....	83
Figura 35:	Simulación Sin PCM en el plano XY .....	85
Figura 36:	Simulación sin PCM en el plano YZ .....	85
Figura 37:	Simulación sin PCM en vista ISO .....	85
Figura 38:	Simulación con PCM Agua en el plano XY .....	86

Figura 39: Simulación con PCM Agua en el plano YZ	86
Figura 40: Simulación con PCM Agua en vista ISO	87
Figura 41: Simulación con PCM Aceite en el plano XY, b) YZ y c) Vista ISO	87
Figura 42: Simulación con PCM Aceite en el plano YZ	88
Figura 43: Simulación con PCM Aceite en vista ISO	88
Figura 44: Simulación con PCM WO-7.5 en plano XY	89
Figura 45: Simulación con PCM WO-7.5 en plano YZ	89
Figura 46: Simulación con PCM WO-7.5 en plano ISO	89
Figura 47: Simulación con PCM WO-5 en Plano XY	90
Figura 48: Simulación con PCM WO-5 en Plano YZ	90
Figura 49: Simulación con PCM WO-5 en Vista ISO	90
Figura 50: Entalpías Específicas de diversos Materiales PCM	91
Figura 51: Conductividad Térmica de Diversos Materiales PCM	92
Figura 52: Calor Específico en Diversos materiales PCM	93
Figura 53: Temperatura Inicial y Final de varios PCM	95
Figura 54: Porcentaje de Pérdida de Masa de varios PCM	96
Figura 55: Temperatura mínima del aire interno de la Caja térmica con varios PCM	97
Figura 56: Temperatura mínima y máxima del aire interno con varios materiales PCM	97

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los Materiales PCM - Resumen	29
Tabla 2: Ácidos grasos encontrados en la semilla de Aguacate	38
Tabla 3: Temperatura y Entalpía del Aceite de Semilla de Aguacate maduro	40
Tabla 4: Propiedades Térmicas del Aceite de Aguacate Maduro 100%	41
Tabla 5: Clasificación de Muestras	55
Tabla 6: Datos Iniciales para la simulación	60
Tabla 7: Características de la Caja Isotérmica	61
Tabla 8: Características de Pila Contenedora PCM	62
Tabla 9: Características del PCM WO-7.5	62
Tabla 10: Características del PCM WO-5	62
Tabla 11: Control de Contenido Acuoso de la Materia Prima	69
Tabla 12: Comprobación de Diferentes Solventes de Extracción	70
Tabla 13: Datos Obtenidos de la Calorimetría Diferencial de Barrido de Mezcla Agua- Aceite de Aguacate	74
Tabla 14: Frecuencia, Intensidad y Asignación del Espectro de FTIR para WO-10	77
Tabla 15: Frecuencia, Intensidad y Asignación del Espectro del FTIR para WO-7.5	78
Tabla 16: Frecuencia, Intensidad y Asignación del Espectro del FTIR para WO-5	79
Tabla 17: Frecuencia, Intensidad y Asignación del Espectro del FTIR para WO-2.5	80
Tabla 18: Resultados TGA para Diferentes Muestras	83

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación para el cálculo de Energía de calor latente	27
Ecuación 2: Ecuación de Calor específico	57
Ecuación 3: Cálculo de Energía Calórica	57
Ecuación 4: Ecuación de Conductividad Térmica por constante de celda de DSC	57
Ecuación 5: Ecuación de Conductividad Térmica por DSC	57

## INDICE DE REFERENCIAS

<i>Referencia 1: Secado de Semillas</i> .....	114
<i>Referencia 2: Comprobación de solvente de extracción a) hexano, b) combustible</i> .....	114
<i>Referencia 3: Extracción por rotavapor</i> .....	114
<i>Referencia 4: Cálculo de Calor Específico y Conductividad Térmica WO-10</i> .....	114
<i>Referencia 5: Cálculo de Calor Específico y Conductividad Térmica WO-7.5 en Condiciones de Simulación</i>	115
<i>Referencia 6: Cálculo de Calor Específico y Conductividad Térmica WO-5</i> .....	116
<i>Referencia 7: Cálculo de Calor Específico y Conductividad Térmica WO-2.5</i> .....	116
<i>Referencia 8: Propiedades Térmicas del Agua Pura</i> .....	117
<i>Referencia 9: Propiedades Térmicas del Aceite de Semilla de Aguacate 100% Maduro (E. Reyes, 2020)</i> .....	117
<i>Referencia 10: Propiedades de la Caja Térmica P10 y Pila de Refrigeración</i> .....	118

Para entregar a:

To be submitted:

**CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE AGUACATE EN BASE DE  
AGUA PARA APLICACIONES DE MATERIAL DE CAMBIO DE FASE A BAJA  
TEMPERATURA**

Axel Zambrano, Javier Martínez, Danny Sinche, Lino Arisqueta

Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas, Quito,

Ecuador. 27/04/2022 10:10:25

Título Corto: Caracterización de mezcla agua-aceite como PCM

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la determinación de las propiedades térmicas de una mezcla agua-aceite, extrayendo el aceite de semillas de aguacates. El aceite purificado (O) de diluyente después es mezclado con agua potable y destilada (W) en muestras con proporciones: 97,5%W-2,5%O; 95%W-5%O; 92,5%W-7,5%O y 90%W-10%O, estas serán sometidas a diferentes ensayos térmicos, como son la Calorimetría Diferencial de Barrido, la Termogravimetría y la Espectroscopía Infrarroja por Derivada de Fourier para determinar sus características térmicas y durabilidad. Una vez obtenidos los resultados previos, se realiza una simulación en Inventor CFD.

Los resultados arrojados por la DSC dan una entalpía de fusión máxima de 350.3 J/g y 353.7 J/g para la muestra de WO-7.5 y WO-5, para la Termogravimetría se tiene que las temperaturas 27.60C° y 106.76 C° para WO-7.5, y 26.27 C° y 105.94 C° para WO-5 corresponden al inicio y final de la degradación del aceite bajo atmósfera de N<sub>2</sub>, entre 25 C° y 107.59 C° con WO-7.5 y, 28.68 C° y 111.20 C° con WO-5 se da la degradación en una atmósfera de aire, demostrando que este compuesto puede ser utilizado a bajas temperaturas, estos resultados también se ven afectados por la calidad de los equipos utilizados desde el principio de la extracción hasta el análisis, la prueba FTIR nos indica los grupos funcionales de los que está formado el aceite y su estabilidad química.

### *Palabras Clave*

PCM, Aceite de Semilla de Aguacate, FTIR, TGA, DSC, Simulación, Almacenamiento, Costos de Producción.

## **ABSTRACT**

The objective of this project is to determine the thermal properties of a water-oil mixture, extracting the oil from avocado seeds. The purified oil (O) from the diluent is then mixed with potable and distilled water (W) in samples with proportions: 97.5%W-2.5%O; 95%W-5%O; 92.5%W-7.5%O and 90%W-10%O, these will be subjected to different thermal tests, such as Differential Scanning Calorimetry, Thermogravimetry and Fourier Derivative Infrared Spectroscopy to determine their characteristics. thermal and durability. Once the previous results are obtained, a simulation is carried out in Inventor CFD.

The results thrown by the DSC test gives a maximum enthalpy of fusion of 350.3 J/g and 353.7 J/g for the sample of WO-7.5 and WO-5 respectively, for the Thermogravimetry the temperatures are 27.60 C° and 106.76 C° for WO-7.5 , and 26.27 C° and 105.94 C° for WO-5 correspond to the beginning and end of the oil degradation under N2 atmosphere, between 25 C° and 107.59 C° with WO-7.5 and, 28.68 C° and 111.20 C° with WO-5 the degradation in an air atmosphere, showing that this compound can be used at low temperatures, these results are also affected by the quality of the equipment used from the beginning of the extraction to the analysis, the FTIR test indicates the functional groups of which the oil is formed and its chemical stability.

### ***Keywords***

PCM, Avocado Seed Oil, FTIR, TGA, DSC, Simulation, Storage, Production Costs

## 1. Introducción

Actualmente, las políticas energéticas a nivel global se centran en el aprovechamiento de tanto energías como recursos renovables, las cuales aportan con bajar el uso de energías convencionales y, por lo tanto, la mitigación o reducción del cambio climático (Macas, 2015) (Altomonte *et al.*, 2015). El problema con estas políticas está en el tiempo entre la generación y el uso de dichas energías, inconveniente que puede ser solucionado por los sistemas de almacenamiento de energía diseñados de forma adecuada pueden mejorar este problema (García, 2015). Los sistemas de almacenamiento de energía pueden ayudar a reducir el consumo de energía en su pico de demanda, por lo que mejoran la eficiencia energética en los usos en donde se las vincule, de esta manera los sistemas de almacenamiento, específicamente los térmicos pueden ayudar a encontrar un arquetipo energético sostenible y que, a su vez, reduce el tiempo necesario entre la generación y consumo de la energía (Irena, 2013) (Rasta & Suamir, 2018).

Existen 2 formas de almacenamiento de energía térmica: la de calor sensible y la de calor latente (Guacaneme *et al.*, 2014) (Kun, *et al.*, 2018). El almacenamiento de energía térmica por calor latente se la presenta como una de las tecnologías con mejor perspectiva por su eficiencia en procesos de conversión de energía y el uso de los recursos térmicos disponibles de forma efectiva, esto se expresa en su gran liberación de energía por unidad de peso de los materiales de cambio de fase (a continuación se los denominará como PCMs, *Phase Change Material*) a una relativamente constante temperatura, junto a su compensación energética entre consumo y generación de calor (Rasta & Suamir, 2018) (Sharma *et al.*, 2014).

El PCM más conocido es el agua, usado principalmente en almacenamiento y cadenas de frío en transporte, por su estabilidad, confiabilidad, seguridad y por sus propiedades térmicas excelentes, que junto a su bajo costo representa uno de los mejores materiales PCM disponibles (Demirbas, 2006) (Rasta & Suamir, 2018) (Kun *et al.*, 2018).

La selección de materiales con lo que respecta al almacenamiento de calor para contar con una buena eficiencia energética, ahorro económico y una vida útil del sistema es importante, por lo que el estudio de estos PCMs se ha dado para desarrollar y mejorar sus utilidades (Sharman, 2015).

Los materiales usados comúnmente en las aplicaciones de calor latente son de alto costos y se producen a partir de material no renovable, principalmente de la industria petroquímica, como las parafinas, siendo así que se ha propuesto la producción de este tipo de materiales a partir de materia prima renovable y barata, siendo atractivas aquellas procedentes de grasas animales y aceites vegetales (Fabianni, 2020) (Domínguez *et al.*, 2008), es así que el almacenamiento de energía con ayuda del uso de ácidos grasos ha ido en aumento en los últimos años, por su buen desempeño termodinámico y cinético para el almacenamiento de calor latente a baja temperatura (Sharman, 2005).

Hay que tener en cuenta que existe una variedad de productos que necesitan conservarse a una temperatura constante, siendo así que deben mantener la misma en tanto su almacenamiento como su transporte, utilizando para ello vehículos modificados para el transporte en frío, el problema se da cuando el producto a transportar o almacenar se encuentra en pequeñas cantidades, por ejemplo, transporte de vacunas, medicamentos, muestras de sangre e incluso transporte de órganos para donaciones y que deben ser entregados a distancias considerables, es en estas ocasiones donde entra el uso de materiales de cambio de fase, normalmente para estas situaciones se usa el nitrógeno líquido, hielo seco, y ciertos grupos parafínicos. (Domínguez *et al.*, 2008).

A partir del conocimiento y desarrollo de estos materiales, se ha dado paso a estudios para optimizar el almacenamiento de energía térmica con mejoras en los costos de producción, tomando en cuenta dichas propiedades, para elegir el más recomendable (Martínez *et al.*, 2017).

Después de varios estudios realizados, los PCMs que han despertado un mayor interés por sus múltiples ventajas como son una fusión adecuada, alto calor de fusión latente, bajos costos de producción, no corrosivos, baja variación de volumen en el cambio de fase, disponibilidad, baja inflamabilidad y toxicidad, no presentar sub enfriamiento, congruencia de fusión, buena estabilidad química son los ácidos grasos; además de que estos se encuentran presentes en los aceites vegetales, siendo un abastecimiento constante, contrario a las fuentes de combustibles habituales (Rasta & Suamir, 2015) (Cedeño, 2001) (Rozanna *et al.*, 2015) (Domínguez *et al.*, 2008). Dentro de los diferentes aceites vegetales, aquellos con ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés) tienen la característica de tener temperaturas de fusión y solidificación relativamente bajas (Rasta & Suamir, 2018). En este sentido, caracterizaciones previas han demostrado que el aceite extraído de semillas de aguacate tiene una concentración de 47% de PUFA (Bora *et al.*, 2001).

En cuanto a la caracterización del aceite de aguacate como un PCM, no se ha tenido mayor investigación, el trabajo de Evelyn Reyes (2020), realizado en la Universidad Internacional SEK, probó que el aceite de semillas de aguacate maduro presenta propiedades térmicas prometedoras, con una conductividad térmica y calor específico bajos, ideal para el uso de almacenamiento de energías frías.

El aguacate con su variedad tipo Hass tiene una producción mundial que sobrepasa los 4 millones de toneladas, donde, su uso es directamente alimenticio o cosméticos, sin embargo, esto solo aplica a la pulpa de la fruta, mientras que la cáscara y semilla son consideradas desperdicios (Domínguez *et al.*, 2018). En este sentido se puede presumir que existe una gran cantidad de desperdicios a causa de esta semilla. El cultivo y comercialización de este producto es increíblemente de alto en el Ecuador, llegando a producirse cerca de 16000 toneladas, donde un 70% está destinada al consumo local y el 30% aproximadamente, destinado a la exportación,

generando una importante cantidad de residuo, ya que la semilla representa cerca del 40% del peso de un fruto de aguacate (Pushkar *et al.*, 2001) (Domínguez *et al.* 2018) (Reyes, 2020).

En comparación con otros ácidos grasos utilizados como PCM para aplicaciones de enfriamiento encontramos que el ácido caprílico tiene una entalpía de 148 kJ/kg (E. Oro *et al.*, 2012), ácidos grasos comerciales conocidos como LA, MA, PA y SA tienen entalpías de fusión de entre los 168 kJ/kg hasta 208 kJ/kg (Sharma *et al.*, 2019). De esta manera se puede advertir que el aceite de semilla de aguacate tiene una desventaja.

### 1.2 Planteamiento del Problema

Los estudios sobre materiales PCM son un hecho a nivel mundial, desde sus inicios alrededor de los años 70 y creciendo exponencialmente hasta la fecha, esto se puede evidenciar en la Figura 1.

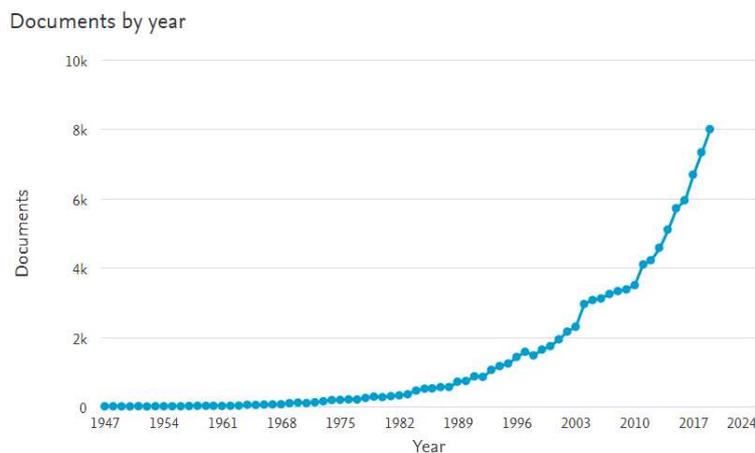


Figura 1: Estudios de Materiales Cambios de Fase por año

A pesar de esto, los estudios sobre estos materiales en los países americanos con excepción de Estados Unidos y Canadá son muy pobres, en comparación con países en el resto del mundo, esto se evidencia en las figuras 2.

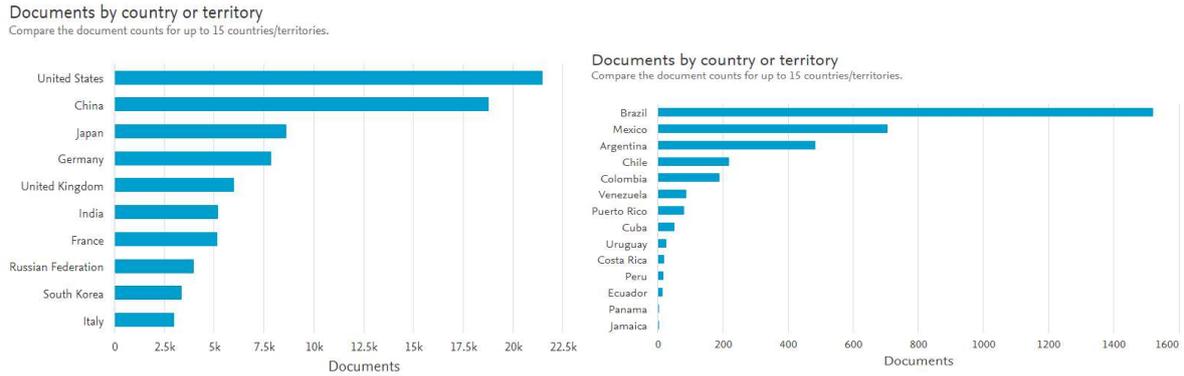


Figura 2: Estudio de materiales de cambio de fase por país a) nivel mundial. b) Latinoamérica

Por otra parte, los intentos de darle aplicabilidad a los PCMs a bajas temperaturas han resultado en daños en los sistemas donde se los ha aplicado, en forma de corrosión o subenfriamiento, ya que los datos mayormente se componen de mezclas eutécticas de agua y sales, parafinas o soluciones salinas.

De la misma forma es esencial indicar que existen muchos productos y recursos, tal como los insumos médicos como sangre, vacunas, órganos de donación, y ciertos alimentos perecibles, sensibles al cambio brusco de temperatura y a temperaturas medias y altas, llegando a dañarse con facilidad si se encuentran en estos rangos, por lo que es necesario que se pueda asegurar el control de temperatura durante toda la *cadena de frío*, para evitar o minimizar la degradación de los productos, demostrando la necesidad que tiene el estudio de los materiales de cambio de fase con menor degradación y con la misma eficiencia energética.

Con respecto al tema de PCMs orgánicos y nuevos a partir de aceites de procedencia renovable, no existe una bibliografía muy amplia.

Habiendo mencionado todo lo anterior, se muestra la necesidad de caracterizar nuevos materiales PCMs para trabajos a bajas temperaturas, cuya materia prima y procesos de producción en general sean renovables y de bajo impacto ambiental, como pueden ser las

semillas de diversos frutos que en muchos casos se vuelven simplemente, desechos sin uso alguno.

### *1.3 Hipótesis*

El aceite de semilla de aguacate, puede ser extraído de diversas maneras, como puede ser en caliente (Soxhlet) o en frío (macerado), emulsionado con agua natural, puede volverse un PCM muy útil capaz de mejorar la eficiencia energética en los contenedores de transporte, pilas de refrigeración y almacenamiento en frío, puesto que, se compone de materiales con buenas características en el cambio de fase sólido-líquido, y no presenta variaciones de volumen significativos después del cambio de fase, a su vez, presentaría una alternativa de bajo costo por componerse mayormente por agua. A su vez, el aceite de semilla de aguacate puede servir como agente de nucleación para el agua, permitiendo que esta tenga una mejor operación en un rango de temperatura de entre  $-5\text{ C}^{\circ}$  y  $20\text{ C}^{\circ}$ .

### *1.4 Objetivos*

#### *General*

Caracterizar la caracterización térmica de un material de cambio de fase de aceite de semilla de aguacate maduro en una base de agua potable para su aplicación como material de refrigeración.

#### *Específicos*

- Reconocer la estabilidad química de las muestras por medio de espectroscopia infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para determinar su pureza y vida útil.
- Definir la temperatura de fusión, cristalización y entalpía por medio de calorimetría diferencial de barrido (DSC) de las muestras.
- Determinar el proceso de degradación que posee el compuesto por medio de un análisis termogravimétrico (TGA) para la determinación de su rango de temperatura de trabajo.

- Comparar el método de extracción por Soxhlet y el método de extracción por maceración en frío, mediante muestras de extracción, determinando sus propiedades y estabilidad química, a través de los análisis previamente mencionados.
- Demostrar una aplicación de CTES para las mejores muestras por medio de una simulación térmica (CAE) por métodos de elementos finitos (FEM).
- Demostrar una aplicación de CTES para el mejor compuesto por medio de una simulación térmica (CAE) por métodos de elementos finitos (FEM)

## **2. Estado del Arte**

### *2.1 Almacenamiento de Energía*

El almacenamiento de energía es un eslabón esencial en la cadena de suplementación de energía, esto se debe al soporte que este produce a casi todos los sistemas de producción y uso de energía ya que estos no son 100% eficientes y, por lo tanto, presentan pérdidas energéticas que, por lo general, son en forma de calor. Estas pérdidas energéticas son recursos valiosos que, al ser capturados y almacenados, pueden funcionar como fuentes de energía para otros procesos. (J. Kaiser, Y. Wu, 2018) (E. Reyes *et al*, 2020).

Además de reducir los desperdicios energéticos, el almacenamiento de energía también tendrá un rol muy importante a este mundo que tiende hacia economías más “verdes”, donde la mayor parte de la energía será producida por fuentes renovables como pueden ser la energía solar, eólica, mareomotriz, etc., y las producciones en exceso que normalmente se desperdiciarían, podrían quedar almacenadas y ser utilizadas en momentos de baja producción y/o mayor demanda. (M. Rodríguez, C. García, JM. Arias, 2008) (J. Kaiser, Y. Wu, 2018)

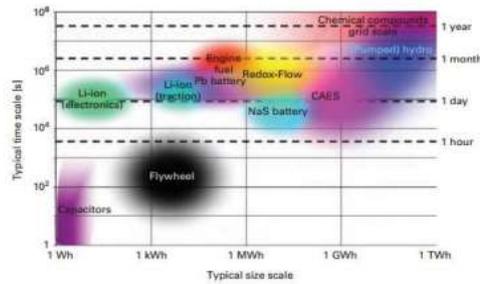


Figura 3: Escalas típicas de tiempo, tamaño y capacidad asociadas con tecnologías de almacenamiento energético

En términos de ingeniería, el almacenamiento energético se enfoca en el concepto de almacenar la energía en una forma o estado que pueda ser reusada en cualquier momento. Tal como se observa en la Figura 3, debe existir una amplia variedad y escala de almacenamientos energéticos, que almacenen la energía dependiendo del tiempo y capacidad necesaria para dicha forma de energía y de esta forma aprovecharla lo más eficientemente posible. Para clasificar mejor los distintos tipos de estados en los que se puede almacenar la energía, se clasificó en 2 grandes grupos: Estado energético primario y Estado energético secundario. (Areke & Wang, 2016)

Generalmente hablando, el estado energético primario se usa para suplir uno de los sectores de consumo de energía: Transporte, calor y electricidad. El almacenamiento de energía debe cumplir diferentes requisitos para cada uno de estos sectores de consumo, y los diferentes conceptos y tecnologías de almacenamiento deben integrarse de forma sistemática para proveer las bases de un sistema de energía.

### 2.1.1 Estado Energético Primario:



Figura 4: Tanques de una extractora de Crudo y Gas Natural en Cushing, Oklahoma, Estados Unidos

Este es el estado más estable y comúnmente utilizado para almacenar energía, literalmente, se refiere a almacenar la energía en su estado primario o inicial y normalmente este tipo de energías se obtienen en un estado de fácil almacenamiento, un ejemplo de esto es el crudo o petróleo el cual es almacenado en grandes tanques para después ser enviados a las refinerías como se puede observar en la Figura 4.

Aunque también existen fuentes de energía cuyas formas primarias no son almacenables como son las energías renovables (solar, eólica, etc.), estas solamente pueden ser almacenadas en un estado energético secundario. (M. Areke & M. Wang, 2016) (E. Reyes, 2020)

### 2.1.2 Estado Energético Secundario:

Al igual que los estados primarios, algunas formas de energía en estado secundario, especialmente aquello en estado líquido o gaseoso, son de fácil almacenamiento, ejemplos de esto pueden ser la gasolina, el diésel, hidrógeno, metano, etc.

El mayor desafío del almacenamiento energético se encuentra justamente en este estado energético, sobre todo en el almacenamiento de energía que no ocurre en un estado líquido o

gaseoso, sino más bien en estados más complejos, como el trabajo, calor o electricidad. (M. Areke & M. Wang, 2016)

### 2.3 Beneficios

El almacenamiento energético presenta muchos beneficios

- Importancia en el manejo del consumo energético
- Ayuda en la reducción de energía desperdiciada y aumenta la eficiencia en el uso de la energía en diversos sistemas.
- El uso de almacenamiento en estado secundario complejo (calor, electricidad) reduce el uso de energías en estado primario utilizadas para producirlas.
- Afecta la reducción de emisiones de gases invernadero de forma positiva
- Permite un mayor uso y desarrollo de las energías renovables y limpias.

---

*M, Areke & M, Wang. (2016). Energy storage technologies and real-life applications – A state of the art review. Research Gate*

Existe una amplia variedad de tipos de almacenadores energéticos, en este documento, solo se hablará del almacenamiento térmico ya que es a lo que se orienta esta tesis.

### 2.4 Almacenamiento Térmico

El almacenamiento de energía térmico (AET, este término se usará de ahora en adelante) es una de las formas más prácticas de almacenamiento (M, Areke & M, Wang, 2016), y al ser necesario para su uso posterior, debe ser reversible por lo que debe ser capaz tanto de almacenar como de liberar calor (E, Reyes, 2020) (M. Murat, 2010).

Existen 3 métodos de AET: Almacenamiento por calor sensible a través de cambio de temperatura del material; Almacenamiento por calor latente a través de cambio de fase del material; Por calor termoquímico al inducir térmicamente cambios en la estructura del material. (M, Areke &M, Wang, 2016) (E, Reyes, 2020).

#### *2.4.1 Calor Sensible*

En esta forma de almacenamiento, el material no sufre ninguna forma de cambio de fase dentro del rango de temperatura requerido en su aplicación, es así como la cantidad de calor por masa de un elemento o cuerpo, necesario para elevar su temperatura se conoce como *calor específico*. (Reyes, 2020)

Ejemplos de materiales más comúnmente usados en esta categoría son: el concreto, sales y cerámicas fundidas.

#### *2.4.2 Calor termoquímico*

Este método de almacenamiento de calor incluye una reacción reversible in donde el calor es guardado durante una reacción endotérmica y expulsada durante una reacción exotérmica. Durante la fase de carga, la energía térmica es usada para separar un químico reactante y volverlo un producto en una reacción endotérmica, los productos de las reacciones son separados y almacenados cuando no se requiere el uso de la energía. (M, Areke &M, Wang, 2016)

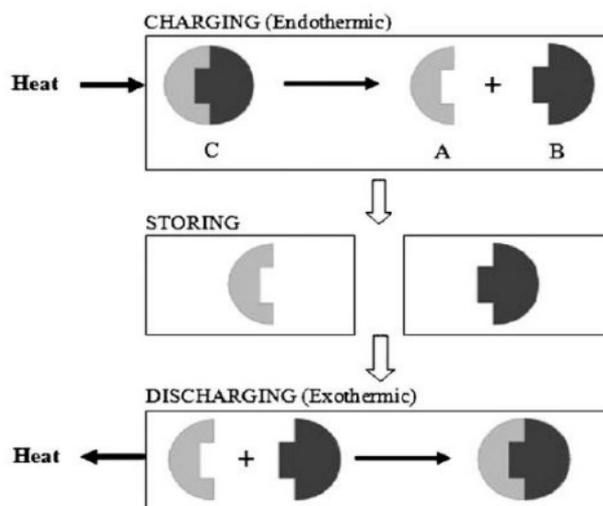


Figura 5: Proceso de almacenamiento (proceso endotérmico) y descarga (proceso exotérmico) termoquímica reversible

El ejemplo en la Figura 5, nos muestra que, durante la fase de descarga, los productos son mezclados para que reaccionen entre ellos y formar el reactante inicial en una reacción exotérmica, la energía expulsada durante este proceso se usa como fuente de energía.

### 2.4.3 Calor Latente

Como el nombre indica, estos materiales almacenan calor latente que se obtiene como resultado de un cambio de fase, para que esto suceda la sustancia absorbe o cede energía una cantidad de calor, siendo así que cuando existe una absorción se considera un flujo positivo y cuando se cede calor se considera un flujo negativo. Estos materiales también se los conoce como **PCM (Phase Change Materials)**. (M, Areke & M, Wang, 2016)

En base a varios cálculos se ha determinado que el calor latente de un material es mucho mayor que su calor sensible, por tanto, con una menor cantidad de masa se puede obtener una mayor densidad de almacenamiento energético. (Reyes, 2020) (M, Areke & M, Wang, 2016)

De esta manera la energía que se acumula por el calor latente se encuentra dada por la ecuación:

$$Q_t = m\Delta h_{cf}$$

Ecuación 1: Ecuación para el cálculo de Energía de calor latente

Donde:

$Q_t$ : Calor Latente

$m$ : Masa del material

$\Delta h_{cf}$ : Entalpía de cambio de fase

Según García González (2015), “La diferencia entre el calor latente y el calor sensible del estado sólido, cuando en un material es adicionado calor, este almacena energía (calor sensible), por lo tanto, existe un incremento de temperatura, pero una vez que se llega a la temperatura de cambio de fase la energía almacenada se encuentra en forma de calor latente, es decir que la temperatura permanecerá constante en el lapso de cambio de estado, para luego volver al almacenamiento por calor sensible”, esto se puede evidenciar en la Figura 6.

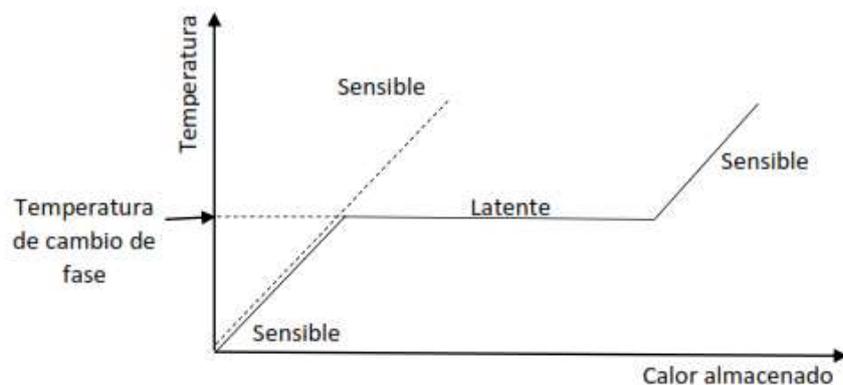


Figura 6: Almacenamiento de calor como calor latente para el caso de cambio de fase sólido-líquido.

Adicionalmente, existe otro método de almacenamiento de energía, llamado CTES (*Cold Thermal Energy Storage*, por sus siglas en inglés), o “almacenamiento de energías frías”, el cual, se utiliza almacenando “frío” del sistema para su aplicación inmediata cuando la temperatura se encuentre más elevada de lo normal, se utiliza en el rango de aplicación bajo y medio, y puede ser usada como método de almacenamiento por períodos de tiempo prolongados (E. Reyes *et al*, 2020) (Rasta & Suamir, 2017).

### 2.5 *Materiales de Cambio de Fase*

Se conoce como materiales de cambio de fase (PCM) a aquellos cuya característica principal es almacenar o ceder energía en grandes cantidades al mantener constante temperatura durante el cambio de fase o estado, son también conocidos como materiales de almacenamiento de calor latente (E. Reyes *et al.*, 2020) (K. Du *et al.*, 2018).

#### 2.5.1 *Características de los Materiales de Cambio de Fase*

- Alta densidad de almacenamiento
- Pérdida energética debido a variación de temperatura se ven reducidas.
- Según el tipo de material, aportan con la disponibilidad de seleccionar la temperatura a la que van a trabajar según su aplicación. (Reyes, 2020)
- Ayuda en la reducción de demanda energética en instalaciones que demandan calentamiento o enfriamiento
- El cambio de temperatura entre equipos de calefacción y enfriamiento se vuelve menos brusco, reduciendo costos y tiempos operativos y de mantenimiento (J. Martínez *et al.*, 2016)

- Permite la reducción del consumo energético en hasta un 12% y mejora su *coeficiente de trabajo* COP (Coefficient of Performance) hasta en un 19% cuando se aplica en equipos de refrigeración de entre -20 C° y 5 C° (K. Du *et al.*, 2018)

Para una mejor comprensión de las características de los materiales de cambio de fase, se puede ver un resumen de estas en la tabla 1 extraída del trabajo de E, Reyes (2020).

Tabla 1: Características de los Materiales PCM - Resumen

<b>Térmicas</b>	<b>Físicas</b>	<b>Cinéticas</b>	<b>Químicas</b>	<b>Económicas</b>
-Adecuada	-Favorable	-Sin sobre	-Estabilidad	-Abundantes
Temperatura de	equilibrio de	enfriamiento	química a largo	-Disponibles
Cambio de fase	fase	-Suficiente tasa	plazo	-Rentables
-Alto calor	-Alta densidad	de cristalización	-	
latente de	-Pequeñas		Compatibilidad	
transición	variaciones		con materiales	
-Buena	volumétricas		de construcción	
transferencia	-Baja presión		-sin toxicidad	
de calor	de vapor		-sin peligro de	
			incendio	

E. Reyes, (2020)

### 2.5.2 Clasificación de los Materiales de Cambio de Fase

Los materiales de cambio de fase se dividen en 2 grandes grupos característicos, según su composición química (Orgánicos, Inorgánicos y Eutécticos) y según su rango de trabajo.

#### 2.5.2.1 Según sus Rangos de Trabajo

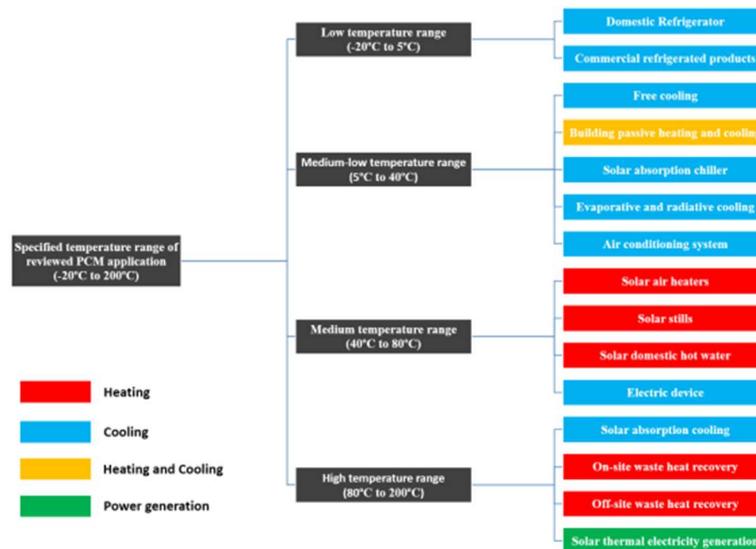


Figura 7: Clasificación de los rangos de trabajo y tipos de trabajo para materiales PCMs

K. Du *et al.* (2018). *A review of Phase Change Materials in Cooling, Heating and Power Generation in different temperature Ranges. Applied Energy Journal*

Según Kun Du *et al.* (2018), los materiales PCM se pueden dividir en 4 rangos de temperaturas para su aplicación:

- Rango Bajo de -20 C° a 5 C°: En este rango se integran principalmente la refrigeración para perecederos de temperatura relativamente baja, aplicación en refrigeración doméstica y comercial y transporte con necesidad de cadena de frío.

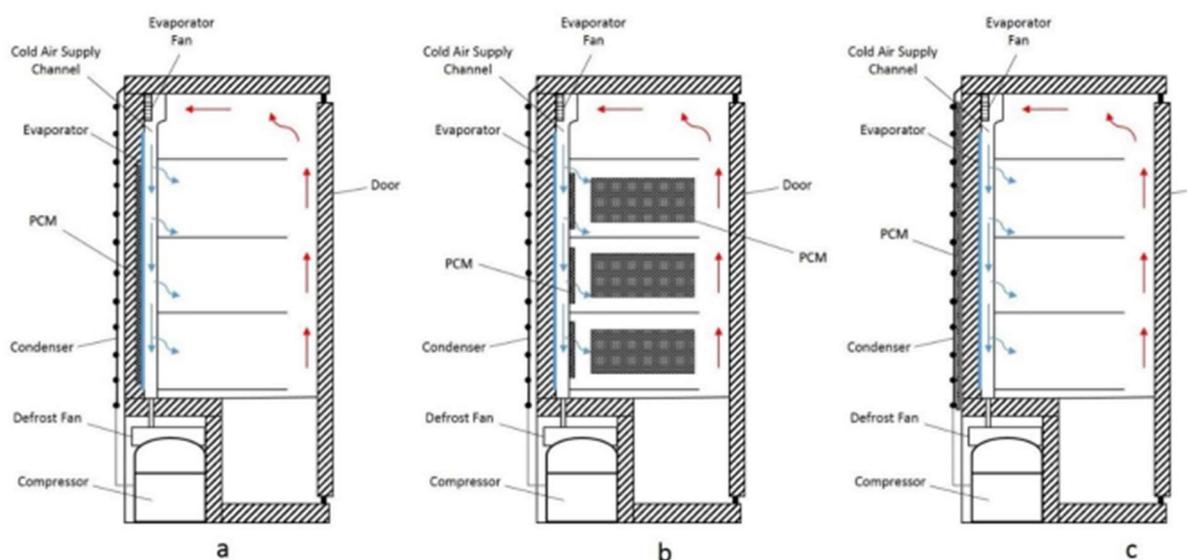


Figura 8: Soluciones típicas de PCMs incorporados en refrigeradores domésticos: a) EN el evaporador; b) dentro del contenido; c) A lado del condensador

- Rango Medio-Bajo de 5 a 40 C°: Aplicación para la climatización en edificios de forma pasiva y como herramienta de refrigeración pasiva para reducir consumo de energía ya sea por refrigeración natural o introducido en sistemas de aire acondicionado, un ejemplo de estos se puede ver en el documento presentado por Karen *et al.*, (2018) en la revista *Construction and Building Materials* donde se investigó un material PCM con un material secundario de soporte para colocarlo en habitaciones y que estos ayuden a mantener el clima de dicho espacio en una zona de confort.
- Rango Medio-Alto de 40 C° a 80 C°: Su aplicación se encuentra en calentadores solares, sistemas de calefacción por energía solar y equipos eléctricos, en este último se emplea a microescala en sistemas de manejo de temperatura para reducir las cargas térmicas en los transistores.
  - Rango Alto de 80 C° a 200 C°: En este rango su aplicación se centra en sistemas de refrigeración para otros sistemas generadores de energía, como el de absorción solar para mejorar su Coeficiente de Rendimiento (COP por sus siglas en inglés), y también en sistemas de recuperación de calor residual y plantas o parques de energía solar para mejorar su eficiencia energética y reducir contaminantes ambientales.

### 2.5.2.2 Según su Composición Química

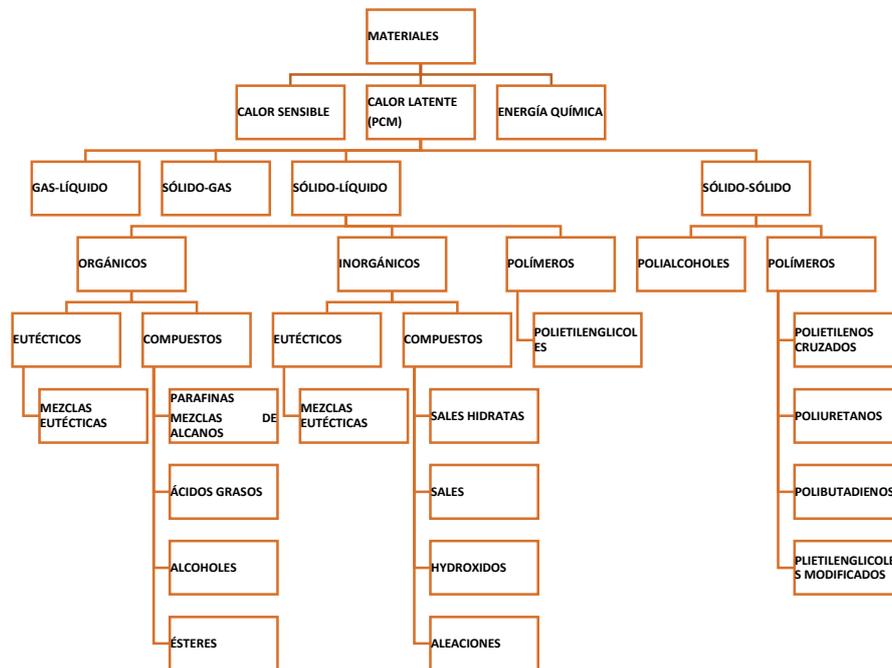


Figura 9: Clasificación de los materiales de cambio de fase (PCMs). (E. Reyes, 2020)

Cada una de las tres clasificaciones mostradas en la Figura 9, tiene sus ventajas y desventajas, lo que permite un amplio campo de uso, para esta investigación, se hablará exclusivamente de la sección de Calor atente, ya que es de nuestro interés.

#### 2.5.2.2.1 Orgánicos

Es así como los orgánicos se pueden considerar confiables, económicos, inertes químicamente, seguros, no corrosivos y estables durante su fundición, propiedades físicas y químicas estables, sobre enfriamiento y segregación casi nulos, aunque como desventajas presentan baja conductividad térmica, inflamabilidad y baja entalpía. Entre los orgánicos, tenemos los ácidos grasos de origen animal y vegetal, como son los de soya o el maíz (Rasta & Suamir, 2018) y aceites extraídos de la naranja (G. López y E. Lezama, 2019), los cuales también presentan baja estabilidad química cuando son adheridos a fluidos acuosos sin una sustancia emulsionante. Además de los ya mencionados, también existe otro grupo de orgánicos, estos son las parafinas, las cuáles, son materiales muy atractivos para la aplicación en almacenamiento de energía por su alta capacidad de guardar calor latente en un rango de

temperatura bajo, inofensivos al ambiente y no tóxicos, las ceras de parafinas son de bajo costo y poseen una densidad de almacenamiento de energía moderada. (M. Akgün *et al*, 2006).

Los PCMs orgánicos, tienen aplicaciones muy prometedoras en el área residencial con uso efectivo de paneles solares, de entre ellas, la más prometedora, es la parafina por su bajo costo, capacidad de almacenamiento de energía moderada y baja conductividad térmica (S. Wu *et al*, 2011) (M. Akgün *et al*, 2011). En el caso de los orgánicos, poseen una aplicación en los sistemas de almacenamiento de energías Frías (CTES por sus siglas en inglés), donde su importancia yace en las altas demandas de energía de los equipos de refrigeración comunes, por ejemplo, los sistemas de aire acondicionado consumen cerca de un 20% de energía auxiliar en autos y edificios (B. Nie *et al*, 2020) (C. Veerakumar & A. Sreekumar, 2016). Además, la aplicación de PCMs en Almacenamiento de Energías Térmicas (TES, por sus siglas en inglés), puede ser ubicado en el rango de temperatura de trabajo de  $-20\text{ C}^{\circ}$  a  $5\text{ C}^{\circ}$ , y estos pueden ser utilizados en refrigeración doméstica y comercial, como pueden ser camiones refrigerados, transporte de comida y de insumos médicos perecibles como sangre, órganos o medicamento preservado a bajas temperaturas (E. Reyes *et al*, 2020).

#### 2.5.2.2.2 Inorgánicos

Los inorgánicos poseen gran capacidad de almacenamiento con respecto a su volumen, no son inflamables, poseen alta capacidad térmica y baja presión de vapor, pero como desventaja, se presentan alta corrosividad, inestabilidad y sobre enfriamiento.

#### 2.5.2.2.3 Eutécticos

Los eutécticos que pueden ser una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos la cual presenta al cambio de fase una temperatura fija, conociendo que los materiales que forman el PCM eutéctico poseen el punto de fusión más elevado que cuando están mezclados, congelan o funden sin segregación además de tener una gran densidad de almacenamiento volumétrico,

su desventaja es su limitada disponibilidad. (J. Martínez *et al.*, 2018) (M. Rasta & N. Suamir, 2017) (E. Reyes, 2020)

## 2.6 Mejoras en la Eficiencia Energética con el uso de PCMs

El estudio de estos materiales ha despertado una nueva forma de utilizar la energía con eficiencia, por lo que con el pasar de los años se investigan nuevos materiales y nuevas formas de obtención, así como mejorar el medio en el que trabajan los ya utilizados, exista una mayor eficiencia energética.

A partir del conocimiento y desarrollo de las propiedades de estos materiales, se ha dado paso a estudios para optimizar el almacenamiento de energía térmica con mejoras en los costos de producción, tomando en cuenta estas cualidades y propiedades, para elegir los más recomendables mediante métodos de selección varios.

Los ácidos grasos pueden ser una buena opción en el momento de escoger nuevos PCMs, sobre todo en lo que respecta a aplicaciones para almacenamiento de energía térmica solar, al ser estos derivados de aceites vegetales y animales, garantizan un suministro continuo, además de un ahorro en el almacenamiento. (Rozanna *et al.*, 2005).

## 2.7 Uso de Aceites Vegetales como Materiales de Cambio de Fase

Los ácidos grasos que se encuentran en las grasas y aceites vegetales son considerados como PCMs orgánicos, muchos de estos tienen mejores propiedades que otros PCM, presentando gran estabilidad química, un apropiado rango de temperaturas de fusión, no son tóxicos, alto calor latente, bajo o nulo sobre enfriamiento y corrosividad. (Rozanna *et al.*, 2005) (M. Rasta & N. Suamir, 2017).

Dentro de los diferentes aceites vegetales, aquellos con ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés) tienen la característica de tener temperaturas de fusión y solidificación relativamente bajas (Rasta & Suamir, 2018). Según el estudio de Bora *et al*

(2001), en la semilla de aguacate se determinó por medio de una cromatografía de gases, porcentajes de 32,495% de ácidos grasos saturados, 20,712% de monoinsaturados y finalmente 46,726% de poliinsaturados.

### 2.7.1 Ácidos Grasos presentes en los aceites orgánicos

Los ácidos grasos son cadenas de carbono con un grupo metil ( $\omega$ ) en uno de los extremos de la molécula y un grupo carboxil ( $\alpha$ ) al otro extremo, tal como se muestra en la figura 10. (R. Arild & D. Christian, 2005).

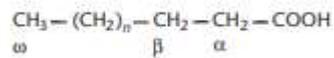


Figura 10: Cadena de Ácido Graso

Los ácidos grasos pueden ser nombrados acorde a un sistema de nomenclatura sistemático. Una forma sistemática de describir el ácido graso está relacionada con el extremo metil, usado para describir la posición de enlaces dobles al final. La letra n se usa para describir la posición de doble enlace, seguido por el carbono  $\beta$ . (R. Arild & D. Christian, 2005)

Los ácidos grasos saturados más comunes en animales, plantas y microorganismos son: El ácido palmítico; El ácido esteárico el cual no está tan presente en las plantas; Ácido mirístico; Ácido oleico, el cual es el ácido graso monoenoico más común en plantas y animales; Ácido Palmitoléico presente en gran manera en algunos aceites de semilla; Ácido linoleico, presente en lípidos de plantas, entre otros. (R. Arild & D. Christian, 2005)

Las propiedades de PCMs orgánicos como parafinas y no parafinas y sus bases eutécticas han sido estudiadas por su potencial para almacenamiento de energías térmicas. Entre los PCMs orgánicos, los ácidos tienen un historial amplio de disponibilidad, daño ambiental reducido y bajos costos comparados con otros materiales orgánicos (E. Reyes *et al*, 2020) (M. Areke & M. Wang, 2016) (J. Calautit & Y. Wu, 2018) (M. Domínguez *et al*, 2008).

Hay que tener en cuenta que los aceites y grasas vegetales tienen un punto de fusión a temperaturas útiles para el almacenamiento de energía térmica, por lo que por sus características podrían utilizar como materiales PCM en aplicaciones comerciales, siendo estos lleguen a ser una mejor alternativa frente a las sales y parafinas. (E. Reyes, 2020).

### 2.7.2 Estudios de PCM con otros compuestos Orgánicos

Existen varios estudios con otros aceites de origen orgánico, como la expuesta por G. López y E. Lezama (2019), en su investigación “*Nano emulsiones O/W de Aceite Esencial de Naranja y Tween 80*”, donde realizan una mezcla de agua – aceite de naranja, con un emulsionante Tween 80, que permite una mayor “adherencia” entre ambas sustancias y así, estabiliza la emulsión permitiendo que su estratificación/separación, sea más tardía. Este experimento fue llevado a cabo con 2 tipos de solución acuosa, agua potable común y agua desmineralizada, donde se demuestra que existe una mayor respuesta en agua destilada por un menor contenido de minerales y desechos.

Otro ejemplo es la investigación de L. Sapey, O. Damayanti y L. Liliana (2007), “*Kinetics of Oil-in-Water Emulsion Stabilization using Lecithin and Biosilica*”, Donde se expone el uso de emulsionantes orgánicos como son la lecitina de soya y la biosilica, muy utilizados en la cocina molecular, para estabilizar la emulsión W-O (Water-Oil, por sus siglas en inglés) a partir de aceite de soya y agua desmineralizada, ya que este tipo de mezclas son química y termodinámicamente inestables y se desestabilizan solo con el paso del tiempo, sin otro fenómeno añadido.

Por último, el trabajo expuesto por I. Rasta y I. Suamir (2017), “*The role of vegetable oil in water based phase materials for medium temperature refrigeration*”, donde se estudió el comportamiento de diferentes aceites de semilla (soya, maíz, canola, etc.), al ser agregados en una base acuosa, sin la necesidad de añadir un emulsionante por la composición de dicho aceite,

y se demostró la aplicabilidad de estas emulsiones, a su vez, describe el mismo problema antes mencionado por L. Sapey (2007), donde se puede añadir emulsionante de ser inevitable.

### *2.7.3 Porque el uso de la Semilla de Aguacate*

El aguacate con su variedad tipo Hass, tiene una producción mundial que sobrepasa las 4 millones de toneladas, donde, su uso es directamente alimenticio o cosmético, sin embargo, solamente la pulpa es utilizada, mientras que la cáscara y la semilla son considerados desperdicios (Dominguez et al., 2016). En el Ecuador se estima que hay una producción de más de 15 mil toneladas de las cuales el 70% es para consumo interno (Briones-Kusactay et al., 2018). En este sentido se puede presumir que existe una gran cantidad de desperdicios a causa de la semilla.

Los PCM para sistemas de almacenaje de energías térmicas frías (CTES) se pueden encontrar en temperaturas de trabajo entre los  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Donde, se encuentran integrados en sistemas de refrigeración comercial y doméstica, reportando en esta última un ahorro energético del 12% y una mejora del coeficiente de rendimiento (COP) de hasta un 19% (Du et al., 2018). En este sentido, al mejorar las características del aceite de semilla de aguacate con una base de agua se puede solucionar un problema de desechos, aprovechando una fuente renovable que podría generar eficiencia energética en aplicaciones domésticas.

### *2.7.4 Componentes en la semilla de aguacates ideales para PCMs*

Según los estudios de Bora *et al.* (2001), en la semilla de aguacate se determinaron los siguientes ácidos grasos en la siguiente tabla por medio de una cromatografía de gases, teniendo de esta manera los porcentajes mostrados, para los ácidos grasos saturados un 32,495%, 20,712% para los monos insaturados y 46,726% para los polinsaturados, divididos en los diferentes ácidos grasos que se observan en la Tabla 2.

Tabla 2: Ácidos grasos encontrados en la semilla de Aguacate

Ácidos Grasos		% total de ácidos grasos
Ácidos grasos saturados		32.495
Hexanóico	(C6:0)	0.800±0.045
Heptanóico	(C7:0)	0.29±0.097
Octanóico	(C8:0)	0.278±0.052
Nonanóico	(C9:0)	0.217±0.006
Decanóico	(C10:0)	Tr
Undecanóico	(C11:0)	Tr
Dodecanóico	(C12:0)	0.278±0.051
Tridecanóico	(C13:0)	0.166±0.011
Tetradecanóico	(C14:0)	0.537±0.052
Pentadecanóico	(C15:0)	2.334±0.110
Hexadecanóico	(C16:0)	20.847±0.843
Heptadecanóico	(C17:0)	1.725±0.022
Octadecanóico	(C18:0)	1.185±0.011
Nonadecanóico	(C19:0)	0.610±0.341
Eicosanóico	(C20:0)	0.043±0.020
Docosanóico	(C22:0)	1.114±0.023
Tetracosanóico	(C24:0)	1.685±0.045
Monoinsaturados		20.712
9-tetradecenoic acid	(C14:1)	0.251±0.002
10-pentadecenoic acid	(C15:1)	0.321±0.159
9-hexadecenoic acid	(C16:1)	1.786±0.325
10-heptadecanoic acid	(C17:1)	0.372±0.083
9-octadecenoic acid	(C18:1)	17.410±0.058
11-eicosenoic acid	(C20:1)	0.448±0.277
13-docosenoic acid	(C22:1)	0.124±0.043
Polinsaturados		46.726
9,12-octadecadienóico	(C18:2)	38.892±0.585
9,12,15-octadecatrienoic acid	(C18:3)	6.577±0.028
11,14,17-eicosatrienoic acid	(C20:3)	1.257±0.030
proporción de ácidos Insaturados/Saturados		2.07

proporción de Polinsaturados/Saturados	1.44
proporción de ácidos oleicos/linoleicos Oleic/Linoleic	0.45

---

\*Tr- Trazas (concentración menor al 0.06% del total de ácidos grasos)

(Bora et al., 2001)

También, la investigación realizada por E. Reyes (2020), sintetizada en las Tabla 3 y 4, nos muestra, que el aceite extraído de la semilla de aguacate 100% maduro, tiene muy buenas propiedades térmicas dentro de los rangos de temperatura medio-bajo, el cual se encuentra entre -5 y 20 C°, y también es el que posee la materia prima más abundante, en comparación con las semillas menos maduras.

Tabla 3: Temperatura y Entalpía del Aceite de Semilla de Aguate maduro

Muestra	Trans. 1 (TI, TM, TF) (°C)	Trans. 1 (Entalpía) (J/g)	Trans. 2 (TI, TM, TF) (°C)	Trans. 2 (Entalpía) (J/g)	Trans. 3 (TI, TM, TF) (°C)	Trans. 3 (Entalpía) (J/g)	Trans. 4 (TI, TM, TF) (°C)	Trans. 4 (Entalpía) (J/g)	Trans. 5 (TI, TM, TF) (°C)	Trans. 5 (Entalpía) (J/g)	Trans. 6 (TI, TM, TF) (°C)	Trans. 6 (Entalpía) (J/g)	Trans. 7 (TI, TM, TF) (°C)	Trans. 7 (Entalpía) (J/g)
	-22,29		-38,17		-54,52		-17,93		-5,69		3,76		14,67	
100T	-4,22	15,94	-31,33	1,38	-47,08	16,08	-19,44	0,4	-13,41	5,09	-0,58	17,08	10,82	19,36
	-3,75		-25,8		-42,59		-22,23		-17,93		-5,69		3,76	
	-21,35		-39,36		-54,52		-18,49		-6,65		3,03		14,2	
75T-25M	-4,16	15,26	-31,21	1,6	-47,43	15,83	-19,92	0,64	-13,67	5,48	-1,47	19,61	10,33	22,65
	-3,67		-25,29		-43,06		-22,7		-18,49		-6,4		3,03	
	-19,69		-39,83		-54,05		-18,89		-7,6		1,92		13,02	
50T-50M	-4,08	12,47	-31,66	1,78	-47,89	17,66	-20,34	0,68	-14,62	4,81	-2,16	19,36	9,64	29,12
	-3,37		-26,1		-43,24		-23,15		-18,89		-6,86		1,92	
	-22,06		-39,36		-54,05		-19,82		-7,77		1,18		13,49	
25T-75M	-7,73	9,33	-31,28	1,32	-47,66	15,24	-21,85	0,84	-16,64	5,08	-3,11	14,64	9,57	25,85
	-3,58		-26,24		-43,23		-23,99		-19,82		-7,77		1,18	
	-23,24		-35,36		-54,52		-15,1		-9,02		-0,97		14,44	
100M	-7,67	11,91	-27,76	0,51	-47,67	17,02	-22,16	1,09	-15,1	5,03	-4,1	16,03	9,4	30,78
	-3,64		-27,51		-43,31		-25,36		-20,17		-7,75		0,13	

Trans: Transición; TI: Temperatura Inicial de Transición; TM: Temperatura Máxima de Transición; TF: Temperatura Final de Transición

Tabla 4: Propiedades Térmicas del Aceite de Aguacate Maduro 100%

Característica	Descripción
Material	aceite pepa aguacate (100M)
Densidad	0.86875 g/ml o 686.75 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	0.014 W/m* C°
Capacidad calórica	3589.76 J/kg* C°

E. Reyes (2020)

### 2.7.5 Emulsiones de aceite vegetal-agua como materiales PCM

Los PCM para sistemas de almacenaje de energías térmicas frías (CTES) se pueden encontrar en temperaturas de trabajo entre los -20 °C y 5°C. Donde, se encuentran integrados en sistemas de refrigeración comercial y doméstica, reportando en esta última un ahorro energético del 12% y una mejora del coeficiente de rendimiento (COP) de hasta un 19% (Du et al., 2018). En este sentido, al mejorar las características del aceite de semilla de aguacate con una base de agua se puede solucionar un problema de desechos, aprovechando una fuente renovable que podría generar eficiencia energética en aplicaciones domésticas.

La investigación realizada por Rasta & Suamir (2017) propone el uso de ésteres, ácidos grasos, triglicéridos y fosfolípidos para crear un “aditivo” el cual se agrega en agua, bien puede ser en agua potable común y corriente o en agua destilada (G. López & E. Lezama, 2019), el aceite extraído será emulsionable gracias a los fosfolípidos que permiten esta mezcla, en caso de no ser completamente estable, se puede utilizar un emulsionante como el Twin 20, 80 o lecitina de soya (L. Sapei *et al.*, 2017).

## 2.8 Fenómeno de Nucleación

La nucleación es un fenómeno clave para el entendimiento de procesos térmicos en polímeros, aleaciones y algunas cerámicas. En química y biología, la nucleación hace referencia a la formación de multímeros, intermediarios en los procesos de polimerización (J. Tartaj, 1996).

La nucleación ocurre normalmente con más dificultad en el interior de una sustancia uniforme, por un proceso llamado “*nucleación homogénea*”. Los líquidos que se enfrían por debajo de la temperatura máxima de nucleación heterogénea (temperatura de fusión), pero que están encima de la temperatura de nucleación homogénea (temperatura de congelación de la sustancia pura) se dice que están superenfriados. Esto es útil para producir sólidos amorfos y otras estructuras metaestables, pero puede retrasar el progreso de los procesos químicos industriales o producir efectos indeseados en el contexto de la fundición (V. Fernando & R. Martín, 2017) (G. Ángel *et al*, 2009).

La creación de un núcleo implica la formación de una interfaz en los límites del nuevo estado. Se gasta cierta energía para formar esta interfaz, basada en la energía de superficie de cada estado. Si un hipotético núcleo es demasiado pequeño, la energía que se liberaría al formarse su volumen no sería lo suficiente para crear su superficie, y no se produciría nucleación. El tamaño crítico del núcleo se puede expresar mediante su radio, y cuando este es crítico, entonces se produce la nucleación. Al irse haciendo más favorable el cambio de estado, la formación de un cierto volumen de núcleo libera la suficiente energía para formar una superficie cada vez más grande, permitiendo que sean viables núcleos progresivamente más pequeños. Finalmente, la activación térmica proporcionará la suficiente energía para formar un núcleo estable. Luego estos pueden crecer hasta que se establece el equilibrio termodinámico (M. Rabelo *et al*, 2017).

En este sentido, la investigación de Rasta y Suamir (2018) se caracterizó agua potable con agregado de ésteres de aceites de soya y maíz obteniendo entalpías de hasta 230 kJ/kg con temperaturas de fusión de  $-4.5\text{ C}^{\circ}$ . De esta manera, se redujo las capacidades térmicas del agua, pero se le dio un mayor rango de trabajo. La investigación propuesta por Sapei (2017), y por Alvarado & Medina (2019), demuestran una mayor estabilidad química, menor grado de subenfriamiento, y emulsión por prolongados periodos de tiempo en mezclas agua-aceite con agua destilada con concentraciones de entre 10-20%.

Un ejemplo de esto es el agua pura, capaz de congelarse a  $-42\text{ C}^{\circ}$ , en lugar de su temperatura de fusión de  $0\text{ C}^{\circ}$ , si no existen nucleadores para la formación de hielo.

## *2.9 Métodos de Extracción de Elementos Esenciales Orgánicos*

### *2.9.1 Soxhlet*

La extracción por Soxhlet es parte de las llamadas <<Extracciones en Caliente>>, como se puede observar en la Figura 11, se encuentra dividido entre 6 componentes:

- 1) Matraz con solvente
- 2) Extractor
- 3) Filtro con muestra sólida
- 4) Adaptador de Expansión
- 5) Adaptador Reductor
- 6) Refrigerante



Figura 11: Partes del Extractor Soxhlet

Una extracción por Soxhlet consiste en calentar el solvente con una estufa de forma indirecta, esto puede hacerse colocando el equipo Soxhlet en un contenedor de agua y calentar el agua a temperatura constante, una vez realizado esto, el solvente se evapora y pasa a través del filtro, al hacer esto, los ácidos grasos en forma de partículas de aceite se evaporan y trasladan junto al disolvente, esta mezcla gaseosa se eleva hasta el tubo refrigerante, donde baja su temperatura y se desliza a través de las paredes internas del equipo en forma de líquido hasta el Matraz con solvente, donde nuevamente vuelve a crearse el mismo proceso. La ventaja de este procedimiento de extracción se encuentra en que el solvente pasa por un ciclo de líquido>gas>líquido, donde este primer cambio permite que el solvente sea lo más puro posible, por lo que siempre puede nunca llega a saturarse de aceite y, por tanto, puede extraer el 100% de su capacidad en todo momento. Una precaución que se debe tener con este equipo es que, gracias a las presiones internas en el equipo por la evaporación del solvente, se debe tener en vigilancia al equipo por el tiempo que demore la extracción, según IUPAC (1992), este procedimiento se realiza a lo largo de 8 horas a

temperatura y presión constante, y se debe analizar número de ciclos necesarios para extracción completa de los ácidos grasos. (M. Castro & L. García, 1998) (Solís-Fuentes & Durán-De-Bazúa, 2004)(Ixtaina et al., 2011)(Wang et al., 2020) (M. Castro & F. Priego, 2010)

### 2.9.2 Método Clásico

El método clásico o método con solventes, se utiliza solventes polares y apolares, donde se colocan ambos solventes en un contenedor en proporciones 1:1 y la muestra sólida de la que extraeremos el aceite, al ser una sustancia apolar, se separará y disolverá en el solvente apolar, el cuál será separado del polar y la muestra sólida por decantación, para finalmente utilizar un rotavapor para retirar la parte solvente y tener un aceite purificado. (R. Luiz *et al*, 2006)

### 2.9.3 Prensado en Frío

El prensado en frío es la separación de líquido de un sistema de dos fases (sólido-líquido), que no se puede bombear con facilidad, mediante la compresión en condiciones que permiten que el líquido escape al mismo tiempo que retiene el sólido entre las superficies de compresión, la máxima temperatura de “prensado en frío” es de 27 C°. (UTN) (V. Ixtaina *et al*, 2011)

### 2.9.4 Maceración en Frío

El proceso de macerado en frío consiste en almacenar una muestra sólida de la cual se extraerá el contenido de aceite en un solvente extractor, el tiempo y proporciones de muestra: solvente utilizado serán seleccionados de una norma específica, como puede ser la Norma IUPAC para extracción, donde se establecen proporciones de 1:4, 1:5, 1:10, 1:20 y 1:50, por 8, 12 y 24 horas (IUPAC, 1992), o, puede realizarse a proporciones diferentes, esto puede verse en el estudio de Z. Rafiee *et al* (2011), donde utilizan una proporción de 1:50 y diferentes horas de maceración (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 y 24 horas). Otro caso de estudio es el de M Safdar *et al* (2017), donde se utilizaron diferentes proporciones (1:10, 1:15 y 1:20) para determinar la mejor ratio de extracción por un tiempo de 20 horas, por tanto, las proporciones y tiempo de maceración son totalmente a decisión

del investigador, acompañado de bibliografía que demuestre el uso factible de ratio y tiempo de maceración.

## 2.10 *Simulación Computacional y su importancia para Materiales PCM*

Para una comprobación de un material o prototipo, se realiza una simulación en ambiente virtual para entender su efectividad y comportamiento en situaciones cercanas a la realidad de aplicación del material o modelo de estudio, esto permite a los ingenieros realizar análisis térmicos (Gunawati *et al.*, 2019), diseño aerodinámico (J. Mo *et al.*, 2013) (P. Jose & M. Stanley 2012), diseño de moldes (M. Anastassios & P. Dimitris, 2013) (T. Bryan, 2017), análisis de comportamiento estructural de materiales (R.K Siva *et al.*, 2019), etc., y poder concluir la relevancia de un material para una aplicación específica.

### 2.10.1 *Simulación de Materiales PCM*

Actualmente ya existen muchos ejemplos del uso de estos programas para entender el comportamiento de un PCM a través del tiempo, Evelyn Reyes *et al.* (2020) nos muestra el comportamiento del aceite de semilla de aguacate a distintos puntos de maduración como materiales PCM utilizando el Software *SolidWorks*, Gunawati *et al.* (2019) en su escrito habla sobre el uso de Autodesk CFD como una herramienta para simulación y análisis de transferencia de calor en materiales de cambio de fase y así obtener el mejor material para conservación de frío en volúmenes cerrados, o B.S Robert *et al.* (2019), quienes utilizan un material PCM para una línea de recuperación de calor, haciendo que esta se vuelva más eficiente, utilizando Autodesk CFD para realizar la simulación, con el uso de estos programas, se logra entender las propiedades térmicas de forma aplicada sin producir costos elevados en experimentos ni pruebas y a su vez, de forma mucho más acelerada, reduciendo costo en capital y tiempo.

## 2.12 Caracterización de Materiales

La caracterización de materiales es el establecimiento de características de materiales específicos cualitativos y cuantitativos, a través de un estudio de sus propiedades físicas, químicas, térmicas, entre otras según las necesidades de aplicación de dicho material (Reyes *et al.*, 2020).

## 2.13 Métodos de Caracterización

### 2.13.1 Espectroscopia Infrarroja por Derivada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia es un método de análisis por infrarrojo capaz de analizar los grupos funcionales de una muestra introducida en un espectrofotómetro, esta puede presentarse en cualquiera de los tres estados sólido, líquido o gaseoso. El principio básico de la técnica se compone de: Una fuente, un interferómetro y un detector; La radiación emitida por la fuente llega a un divisor de haz que la refleja a un juego de espejos fijo y móvil, se genera un patrón de interferencia de todas las radiaciones del haz, que luego son absorbidas selectivamente por la muestra colocada. (M. Zambrano, 2020)

### 2.13.2 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Este método mide la cantidad de calor transferido (absorbido o extraído) de una sustancia, al mantenerla a una temperatura constante durante un tiempo determinado, o cuando la sustancia se enfría o calienta a una velocidad constante, en un determinado intervalo de temperatura (E. Reyes, 2020).

Los procesos donde existen variación de entalpía son los más convenientes para usar la calorimetría diferencial de barrido, esto gracias a que permite registrar la diferencia en el cambio de entalpía entre el material de referencia y la muestra en función de la temperatura o del tiempo, cuando ambos se encuentran bajo un régimen de temperatura controlada.

Como resultado de este método se obtienen curvas donde en las unidades del eje de ordenadas se representan el flujo de calor por unidad de tiempo. Teniendo en cuenta que los

fenómenos endotérmicos son representados por los picos positivos y los exotérmicos por los picos negativos (Faraldos, 2015).

### 2.13.3 Termogravimetría (TGA)

Este método permite la medición de la rapidez y cantidad en el cambio de la masa de una muestra en función de la temperatura bajo una atmósfera controlada, además permite caracterizar materiales con pérdida o ganancia de peso por su descomposición, deshidratación u oxidación, obteniendo luego del ensayo datos del cambio de masa en función de la temperatura, tiempo y una termo grama, donde se evidencian las variaciones de masa presentadas (Villegas, 2012).

El ensayo termogravimétrico puede ser: isotérmico (temperatura constante), cuasi-isotermo (la muestra se calienta o enfría a masa constante y al estabilizarse la temperatura se producen cambios), dinámico (la muestra se calienta o enfría bajo una atmósfera determinada, con rampa de temperatura controlada) (Faraldos, 2015).

La principal característica que se obtiene con esta técnica es la estabilidad térmica, es decir, conocer en que rango de temperatura de calentamiento o enfriamiento se mantienen las propiedades del material (Faraldos, 2015).

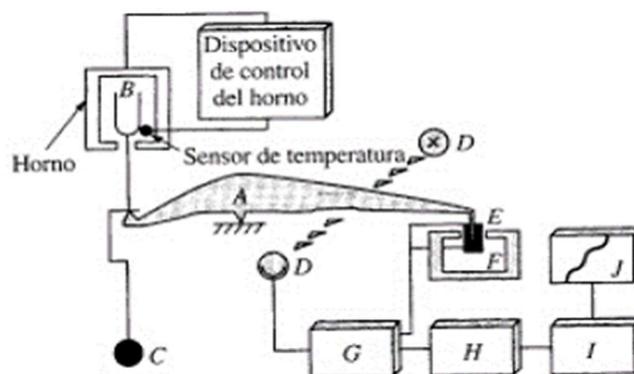


Figura 12: Esquema de Termobalanza

## 2.14 Materiales

### 2.14.1 Solvente

La investigación previa de este documento, que incluye investigación bibliográfica y consejería del ingeniero Ms. Lino Arisqueta (2021) y Danny Sinche (2020), concluyó que los disolventes más prácticos y con mayor rendimiento son el Éter de Petróleo y el Hexano, en caso de existir problemas en la obtención de estos elementos también se puede optar por el uso de etanol o combustibles de alto octanaje, que, a pesar de no tener un rendimiento tan alto con los anteriormente mencionados, pueden producir resultados interesantes después de todo, según los ingenieros <<Lo importante en un PCM compuesto de ácidos grasos orgánicos son los triglicéridos ya que estos son los que permiten la mayor parte del almacenamiento y expulsión de energía y los fosfolípidos que permiten la emulsión con una base acuosa>>, a dichos ingenieros, se suma la investigación de Rasta & Suamir (2017), donde sugieren realizar las emulsiones ya sea con o sin emulsionantes externos, demostrando la aplicabilidad del uso del aceite sin necesidad de un aditivo.

## 3. Metodología

### 3.1 Tipo de Estudio

En el presente proyecto, se busca la determinación de las propiedades térmicas de emulsiones entre agua y aceite de semilla de aguacate a 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de concentración de aceite, mediante ensayos térmicos, espectrométricos, y por simulación computacional, de tal forma, que se pueda descubrir cual o cuales, de todas las muestras, posee las mejores propiedades térmicas para una aplicación en cadena de frío.

Para una mejor comprensión de los procesos que se llevarán a cabo en esta investigación, se puede observar la Figura 13.



Figura 13: Diagrama de Procesos de la Investigación

Se puede observar que los procesos de determinación ocurren después de la extracción de agua y no antes como normalmente debería hacerse, esto se debe a diversas dificultades de fuerza mayor que afectaron los métodos de extracción y materiales a usar inicialmente.

### 3.2 Modalidad de Investigación

Esta investigación es del tipo exploratoria-aplicada, la poca documentación sobre el uso de aceite de semilla para emulsiones de PCM, conlleva a realizar un estudio de los métodos de extracción, diferentes solventes para extracción, analizar las propiedades térmicas y la estabilidad química de los compuestos mediante ensayos destructivos, como son la termogravimetría y la calorimetría diferencial de barrido y no destructivos como la espectroscopía por derivada de Fourier. Con los resultados obtenidos, se realiza simulaciones computacionales donde se utiliza a las muestras con las mejores propiedades, junto a otros materiales PCM, como materiales dentro de contenedores, para la conservación de temperatura interna de una caja térmica, para así demostrar la aplicabilidad de las muestras, en un rango de temperatura determinado.

### *3.3 Obtención de Muestras*

Para el presente estudio se utilizarán las semillas de aguacate tipo Hass, proveniente del árbol *Persea Americana*, en esta variedad la semilla constituye el 12% del peso de la fruta y es considerado un residuo (Gidigbi et al., 2019).

A este se le retirará la primera capa fina, y será almacenada a 5°C, posteriormente será deshidratada en una estufa de aire a 60° por 48 horas para luego ser triturada por molino, el aceite pasará a ser extraído por un extractor Soxhlet con hexano.

Para la determinación del contenido acuoso perdido después de esta fase, se dividieron las muestras en 10 contenedores de un peso específico de muestra y se obtuvo su peso cada 24 horas a lo largo de 6 días utilizando los equipos del Instituto de Investigación Geológico y Energético IIGE.

### *3.4 Justificación del uso de Disolvente*

Para la comprobación de la eficiencia de extracción del disolvente, se procederá a realizar extracciones muy pequeñas de aproximadamente 15 gr de materia prima en diferentes disolventes (Hexano, Éter de Petróleo y Combustible de Alto Octanaje) de acuerdo la normativa IUPAC (1992), con una relación materia-disolvente 1:4, esto se puede observar en la tabla 12, de ahí, se procede a utilizar el solvente que tenga mejor eficiencia de extracción y a su vez, este se encuentre disponible para la investigación.

### *3.5 Justificación del Uso de Método de Extracción*

Para esta investigación se seleccionó el método de extracción dependiendo de 3 condiciones

- Disponibilidad de Tiempo
- Disponibilidad de Equipo de Extracción y Materiales
- Estabilidad de Propiedades Mecánicas y Térmicas

Por lo que se seleccionó entre 4 métodos, Soxhlet, Macerado, Prensado en Frío y Separación Clásica Por medio de Elementos Polares y Apolares.

El método de Soxhlet presentó problemas ya que no existía disponibilidad de Filtros de Soxhlet, también, necesitaba mantenerse bajo observación por un mínimo de 8 horas, (Rasta & Suamir, 2018) para asegurar que no exista riesgo de filtraciones entre las juntas del dispositivo Soxhlet a lo largo del proceso, lo que representaba una dificultad ya que es un lapso muy amplio de tiempo y las condiciones de apertura y cierre de laboratorio no permitían esto.

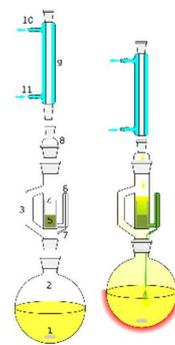


Figura 14: Partes y Ensamble de un Extractor Soxhlet

El Método de Separación Clásico por el uso de sustancias polares y apolares requiere grandes cantidades de disolventes tanto polares y apolares para en una proporción 4:1 a 5:1 material: solventes y proporciones 1:1 solvente: solvente, como lo establece la norma IUPAC (1992), los cuales necesitan permisos para su uso, por lo que se descarta el uso de este método.

El método de prensado en frío no se utilizó por 2 razones, la primera es la facilidad de conseguir un equipo que pueda presentar una extracción satisfactoria para la poca masa que se trabajó; La segunda razón es porque no existe estudio donde se demuestre que el uso de este equipo afecte o no las propiedades térmicas y mecánicas de la sustancia extraída, por lo que se evitó su uso.

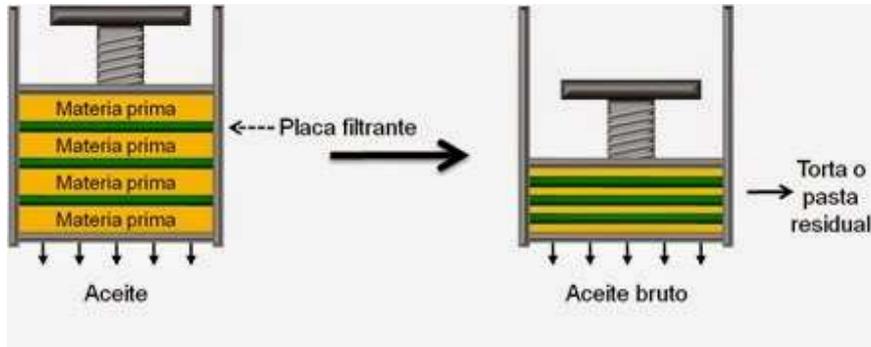


Figura 15: Prensado en Frío

Finalmente, el método utilizado en esta tesis es el método por maceración (V. Ixtaina *et al*, 2011) (I. Romero, 2008) (E. Flores, 2017), donde se coloca la materia prima y el disolvente seleccionado dentro de un recipiente de vidrio libre de impurezas y residuos químicos en la proporción de 1:4 (IUPAC, 1992) y se deja a reposar entre 24 y 48 horas (L. Arisqueta, 2021) sellado con una tapa de vidrio posteriormente envuelta en papel de parafina y aluminio para luego proceder a un rotavapor encargado de separar el disolvente del solvente.



Figura 16: Extracción por Macerado de Semillas de Aguacate

La eliminación del solvente se lo realizará por medio de un rotavapor con el método Wesson (Solís-Fuentes & Durán-De-Bazúa, 2004)(Ixtaina et al., 2011)(Wang et al., 2020), como procedimiento sustituto por falta de elementos como el solvente hexano y filtros para extractor Soxhlet, se procedió bajo las recomendaciones de los ingenieros Lino Arisqueta y Danny Sinche, (2021), el uso de combustible comercial de alto octanaje como sustituto y en reemplazo a Soxhlet el uso de un proceso de macerado por 48 horas en dicho disolvente sustituto bajo una proporción 1:4 donde se extrae de 1gr de materia prima utilizando 4 ml de disolvente y hacer un relavado que no supere la relación 1:5 para de esta forma asegurarse de obtener la mayor cantidad de ácidos grasos de las semillas de aguacate trituradas (IUPAC, 1992) (V. Ixtaina, 2011).

### *3.6 Preparación de Muestras Agua-Aceite*

Para la preparación de las muestras se tomará de referencia el trabajo de Rasta & Suamir (2018), tomando el aceite de semilla de aguacate maduro por las probadas propiedades de cambio de fase a bajas temperaturas. Primero se probará la solubilidad del aceite en agua por medio de un método de mezcla simple, de acuerdo a Rasta & Suamir (2018) los esteres de metil al ser de cadenas cortas son solubles en agua, en el caso del aceite de aguacate se encontró que al tener niveles libres de ácidos grasos menores al 2% no se requiere de una esterificación para convertirlos en esteres de metil (Rachimoellah et al., 2009). De no haber solubilidad se deberá realizar un proceso de esterificación o emulsión.

Cada muestra tendrá un volumen de 10ml, donde los porcentajes de aceite serán, 2.5%, 5%, 7.5% y 10% y el restante será agua. Se realizará una mezcla homogénea por un batido lento en un tubo de ensayo por menos de un minuto a mano. Las muestras se clasificarán mediante la siguiente tabla.

Tabla 5: Clasificación de Muestras

Nomenclatura	Aceite (%)	Agua (%)
WO-10ml	10	90
WO-7.5ml	7.5	92.5
WO-5ml	5	95
WO-2.5ml	2.5	97.5

### 3.7 Calorimetría Diferencial (DSC)

La caracterización térmica se debe realizar con un equipo TA Instruments DSC Q2000 de sensibilidad menor a 02 MW, el intervalo de funcionamiento va desde los -89° a 400° C, en una cámara hermética con purga de nitrógeno con un flujo de 20ml/min. Cada muestra será sellada en cápsulas de aluminio herméticamente de 6mm de diámetro por 2-8 mm de altura. Las muestras se pesan en una balanza analítica Shimadzu, cuyo peso debe ir de entre 5 a 10 mg. Las muestras serán enfriadas desde la temperatura ambiente de 25 °C a -100 °C y recalentada a la temperatura ambiente. La rampa de temperatura será de 2°C/min. Donde se espera una desviación de entalpia de  $\pm 2\%$  y  $\pm 0.1$  °C de temperatura. (Rasta & Suamir, 2018)(Sharma et al., 2014) (E. Reyes *et al.*, 2020).

### 3.8 Espectroscopía Infrarroja (FTIR)

Se analizará a estabilidad química de los compuestos en búsqueda de los grupos funcionales de estos por medio de FTIR. Unas pocas gotas serán analizadas por medio de reflectancia total atenuada (ATR), en el rango de banda de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$  con una resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$ . Se deberá extraer el espectro de aire de fondo y entre cada toma de muestra se deberá limpiar la placa con hexano 2 veces seguido de acetona. Cada muestra deberá ser replicada 2 veces (Castonera-Garcia et al., 2011)(Taylor & Rohman, 2015) (E. Reyes *et al.*, 2020).

El equipo ha utilizar es un espectrómetro marca Jasco, Modelo FT/IT 4200.

### 3.9 Termogravimetría (TGA)

El análisis termogravimétrico fue hecho con un equipo de marca Shimadzu modelo TGA50, con un rango de temperatura de medición desde la temperatura ambiente hasta los 1000 C°.

Las muestras se analizaron en un crisol de platino con masa referencial de entre 3 a 7 mg registrando los cambios de masa a partir de la temperatura ambiente en el momento del ensayo hasta los 1000 C°, bajo 2 tipos de atmósferas, una inerte de Nitrógeno y otra de aire respectivamente con un flujo de 30 ml/min, realizado a una velocidad de calentamiento constante de 10 C°/min.

### 3.10 Cálculo de Conductividad Térmica y Calor Específico

Para la simulación computacional, se requieren 4 propiedades de material muy importantes, calor específico, conductividad térmica, densidad y entalpía, de los cuales, el ensayo DSC va a dar la entalpía y ya poseemos la densidad, por tanto falta obtener las otras 2 propiedades, los datos para calcularlas son provistos por el ensayo DSC y el ensayo TGA, el DSC realizado en un equipo Q2000, nos da la variación de entalpía en W/g, con lo que podemos sacar un calor Q en las temperaturas específicas que se desean, la constante de celda (celda donde se coloca la muestra), de ahí, se debe obtener la resistencia a la conducción total y de la celda; la celda es de aluminio de espesor 0.0005m y de 0.003 m de radio (M. Hu *et al.*, 2007); La conductividad de la muestra se obtiene con la fórmula 4, donde q se obtiene restando la variación de entalpía entre -25 C° (E. Reyes, 2020) y 2.14 C°, que es la temperatura máxima de cambio de fase. La entalpía obtenida por el Q2000 es solo de la muestra mas no de toda la estufa, por lo que no es necesario tener que calcular la resistencia a la conducción de la celda ni la resistencia a la convección del ambiente nitrógeno (TA Instruments)

Para el cálculo de las propiedades de calor específico y conductividad térmica de las muestras, se utilizan las siguientes fórmulas. Todos los datos utilizados para el cálculo de conductividad térmica y calor específico/capacidad calórica, se encuentran en las Referencias 4 y 5

$$c_v = \frac{h \left[ \frac{J}{g} \right] * \dot{m} \left[ \frac{g}{s} \right]}{\dot{T} \left[ \frac{C}{min} \right] * \frac{min}{60 s} * m [g]}$$

Ecuación 2: Ecuación de Calor específico

Donde:

$c_v$ : Calor específico a Volúmen constante

$h$ : Entalpía Específica

$\dot{m}$ : Flujo Másico constante

$\dot{T}$ : Flujo de Temperatura constante

$h$ : masa

$$Q = \frac{\Delta h}{m}$$

Ecuación 3: Cálculo de Energía Calórica

$$\lambda' = \frac{Q * L}{A * \Delta T}$$

Ecuación 4: Ecuación de Conductividad Térmica por constante de celda de DSC

$Q$ : Calor

$L$ : Longitud o espesor de material

$A$ : Área

$\Delta T$ : Variación de Temperatura

$\lambda'$ : Conductividad térmica no corregida

$$\lambda = \lambda' * k$$

Ecuación 5: Ecuación de Conductividad Térmica por DSC

$\lambda'$ : Conductividad térmica no corregida

*k: Constante de Celda (Obtenida por DSC)*

### *3.11 Simulación Computacional*

#### *3.11.1 Justificación del rango de Temperaturas para la Simulación Computacional*

Para el transporte de mariscos como el pescado, según L. Swann *et al* (2013), los peces de agua cálida deben ser conservados a temperaturas de 12 C° a 16 C°, mientras que, para las especies de agua fría como la trucha y el salmón, estas deben transportarse a temperaturas de entre 4 C° a 10 C° por un máximo de 3 horas. Se ha notado que el mecanismo natural de deterioro de las enzimas y la actividad microbiana se ve reducida al llevar la temperatura hasta los 0 C°. Para diversos sistemas de conservación en frío, se recomienda que el pescado se mantenga a una temperatura menor a 2 C°, antes, durante y después del proceso de conservación, a su vez, los rangos de temperatura más importantes se encuentran entre -2 C° y 1 C°, donde el pescado empieza a enfriarse o descongelarse de forma más lenta por su alto contenido de agua, por lo que, para un proceso de congelación, este rango debe ser superado de forma rápida, mientras que, para un proceso de conservación, una vez se llega a este rango, este se debe mantener por el mayor tiempo para el transporte del marisco sin que este sufra un deterioro acelerado H. George (1997). Junto a esto, según la normativa INEN (2013), el rango de temperatura máximo se encuentra entre 2 C° y 8 C°.

Por otra parte para el transporte de insumos médicos como pueden ser órganos, plasma sanguíneo, sangre, etc., B. Maria & D. Vito (2019) exponen que la temperatura para la conservación de órganos mientras es transportado es de entre -20 C° y 37 C° dependiendo del tipo de órgano, a su vez, S. Michel *et al* (2015), describen que la temperatura teórica perfecta para la conservación se encuentra entre 4 C° y 8 C°, ya que una temperatura inferior, aumenta el riesgo de heridas por frío produciendo desnaturalización de proteínas, finalmente, (Lexis S.A, 2014) exponen el uso de temperaturas de  $-3\text{ C}^{\circ} \pm 5\text{ C}^{\circ}$  en el proceso de extracción de órganos y

recomiendan temperaturas de conservación de entre 2 C° y 8 C°. (Cámara de Diputados de la Unión, 2014).

A esto, se suma el trabajo de K. Du *et al* (2018), donde se exponen los diferentes rangos de trabajo de PCMs, donde se muestran dos rangos de trabajo, -20 C° a 5 C° y 5 C° a 20 C°, aplicables *para esta investigación* y a su vez, los datos de R. José (2018) en colaboración con el INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada) nos muestra que las temperaturas promedio en la costa Ecuatoriana, donde la máxima es de 29.62 C° y la mínima de 22.53 C°, un reporte del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, INAMHI (2008) revela temperaturas máximas de 30 grados y mínimas de 20, finalmente, el reporte de Z. C. Carlos (2022), director de INOCAR, muestra predicciones con variaciones de temperatura de 28 C° a 20 C°, a lo largo del perfil costero del Ecuador Continental y Galápagos entre el 6 y el 7 de Julio del presente año. Esto nos lleva a la conclusión de que no se ha presentado una variación en los rangos de temperatura máxima en la zona costera del territorio ecuatoriano, por lo que puede considerarse el uso de una temperatura máxima promedio entre estos valores para este proyecto.

Con estos datos, se puede concluir que el rango de temperatura más importante a analizar es entre -2 C° y 20 C°, los cuales emulan las temperaturas de los contenedores de donde salen los productos congelados para su transporte y la temperatura ambiente promedio a la que se ve afectada las cajas contenedoras, pero para realizar una investigación con cierto rango de holgura, se va a trabajar con temperaturas de -5 C° y 25 C°.

### *3.11.2. Descripción de la Simulación*

Para el modelamiento y Simulación de las muestras se requirió hacer un análisis selectivo del o los programas que den resultados más apegados a la realidad, según J. Cepeda (2022), dichos programas son los proporcionados por Altair, SolidWorks y Autodesk, entre ellos están, Inspire,

SimSolid, SimLab, HyperWorks y HyperMesh, Inventor CFD, Inventor Nastran Y SolidWorks de los cuales solamente HyperWorks y HyperMesh, SimLab, Inventor CFD y SolidWorks trabajan con materiales fluidos como aire o agua, y solamente Inventor CFD, SimLab y SolidWorks requieren el menor consumo de recursos, tiempo de simulación y tiempo de preparación (ingreso de datos y ambiente de simulación).

Como conclusión se optó por el uso de Inventor CFD por la disponibilidad de la licencia de software, baja complejidad y tiempo necesario para su uso, bajo consumo de recursos y por sugerencia del Ing. Jorge Luis Cepeda (2022), fundador del Laboratorio Acreditado en Ensayo de Autobuses y Pruebas de Vuelco COINAV.

La simulación se realizará en estado transitorio con un período de tiempo de 7 horas o 25200 segundos y se utilizará un salto de tiempo de 900 segundos (E. Reyes *et al.*, 2020), ya que el equipo donde se hace este procedimiento posee poco poder computacional, por lo que se debe aumentar el salto de tiempo entre cada paso, esto para que en cada simulación se pueda conocer el tiempo en que la temperatura interior puede seguir siendo óptima para la transportación y/o almacenamiento, haciendo una comparación con y sin el uso del PCM estudiado, a su vez, se realizará una comparación entre el uso de agua pura, aceite de aguacate (E. Reyes *et al.*, 2020), la muestra WO-7.5 y la muestra WO-5.

Los datos iniciales de trabajo para la simulación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6: Datos Iniciales para la simulación

<b>Elemento</b>	<b>Temperatura Inicial</b>
Casa Isotérmica	-5 C°
Caja con PCM	-5 C°
Temperatura Ambiente	25 C°

Se utilizan los rangos de temperatura de la tabla 6, que se asemejan a los requeridos para el transporte de alimentos perecederos como son varios tipos de pescado y crustáceos.

La tabla 7 ha continuación presenta los datos del contenedor a simular, se utilizó como referencia los datos de la caja Térmica P10 de Poliestireno Expandible de PLASTES S.A (2020) y las propiedades del poliestireno son confirmadas con la base de datos de la ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido). Para más detalles, se puede observar en Referencias 10.

Tabla 7: Características de la Caja Isotérmica

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Material	Poliestireno Expandible (EPS)
Densidad	24 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad Térmica	0.032 W/M* C°
Calor Específico	1210 J/kg * C°
Medidas Exteriores	392x312x141 mm
Medidas Interiores	350x275x113 mm
Peso	0.250 kg ± 3%

Características de ANAPE (2020); UNE-NE-1602; UNE-NE 12667

La Tabla 8 muestra las características de la caja contenedora del material de cambio de fase, se utilizó como referencia los datos de la Pila de 400g. de U. Faber (2014). Se utiliza una geometría de pila de refrigeración ya que es una de las formas de transporte en frío más comunes, un ejemplo de esto es La Distribuidora Avanti en Salina, Ecuador, donde usan este tipo de contenedores de refrigerante para mantener sus productos perecederos como son lácteos y levaduras. Para más detalles se puede observar en Referencias 10.

Tabla 8: Características de Pila Contenedora PCM

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Material	Polietileno de alta densidad (PEHD)
Densidad	0.95 g/cm <sup>3</sup> o 958 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad Térmica	0.43 W/m* C°
Calor Específico	1900 J/kg* C°
Medidas	110x170x30 mm ± 10%
Espesor	1 mm

Características de U. Faber (2014); E. Reyes (2020)

En la Tabla 9 y 10, se pueden observar las características del PCM a utilizarse para la simulación, Se colocarán las propiedades de la muestra WO-7.5ml y WO-5 por su estabilidad química y propiedades térmicas obtenidas en los ensayos anteriores, sumado a esto, al ser un material planificado para una escala industrial, se realizarán pruebas bajo la premisa de reducir costos para dicha escala industrial, sin perder propiedades térmicas. Se comparará los resultados de las simulaciones de ambas muestras con cajas con Agua, Aceite de Semilla (E. Reyes, 2020), las cuales se encuentran en Referencias 8 y 9, y sin PCM.

Tabla 9: Características del PCM WO-7.5

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Material	92.5% Agua – 7.5% Aceite semilla aguacate
Densidad	0.992 g/ml o 992.169 kg/ml
Conductividad Térmica	0.1492 W/m C°
Capacidad Calórica	3.7619 J/g C° o 3761.9206 J/kg C°

Tabla 10: Características del PCM WO-5

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Material	95% Agua – 5% Aceite semilla aguacate
Densidad	0.98434 g/ml o 984.338 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad Térmica	0.1252 W/m C°
Capacidad Calórica	3.6153 J/g C° o 3615.3118 J/kg C°

Para la realización de la simulación se realizan los siguientes pasos:

### 3.11.3. Modelamiento 3D del Contenedor de transporte y/o almacenamiento

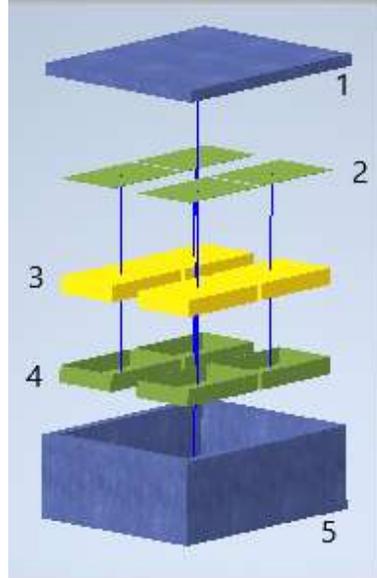


Figura 17: Desensamble de Caja para Simulación

El ensamble que se observa en la Figura 17 se compone de los siguientes Componentes:

- 1) Tapa de Caja Isotérmica
- 2) Conjunto de Tapas para Pilas de PCM
- 3) Conjunto de PCM
- 4) Conjunto de Pilas de PCM
- 5) Caja Isotérmica

Debido al espacio de la caja isotérmica se han colocado 4 pilas contenedoras de PCM, esto se hará para todas las simulaciones para que de este modo se vea el comportamiento más realista

de los materiales. Se puede apreciar que existen espacios vacíos entre las diferentes pilas, este inconveniente se explica su resolución más adelante.

#### *3.11.4 Crear un estudio Térmico en Inventor CFD*

Para el estudio térmico, inicialmente definimos los materiales previamente mencionados, esto puede realizarse de 2 maneras:

#### *3.11.5 Ingreso de Material*

##### *Importar Material*

Se puede asignar un material en el diseño de Inventor e importarlo al ambiente CFD, creando ciertas reglas en el apartado  **Rules** dentro del programa de simulación.

##### *Creación de Material*

Se puede editar el material desde cero en la opción de  **Material Editor**, esto permite diseñar el material de forma rápida y sencilla si disponemos de todas sus propiedades. También se puede editar el material deseado dando click derecho sobre una pieza deseada y seleccionar editar, con esto, se abre una ventana de propiedades del objeto, que nos permite elegir el tipo de material y editar dicho material.

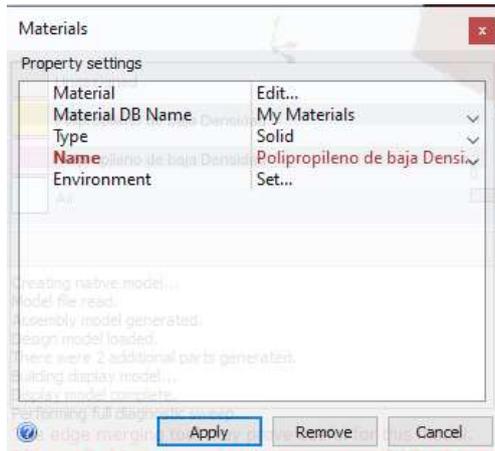


Figura 18: Ventana de Propiedades de un Elemento en Inventor CFD

Las propiedades del material se pueden cambiar en la sección derecha de la ventana emergente y se puede seleccionar la propiedad a modificar dando clic sobre las propiedades en cuadro rojo mostrados en la Figura 19.

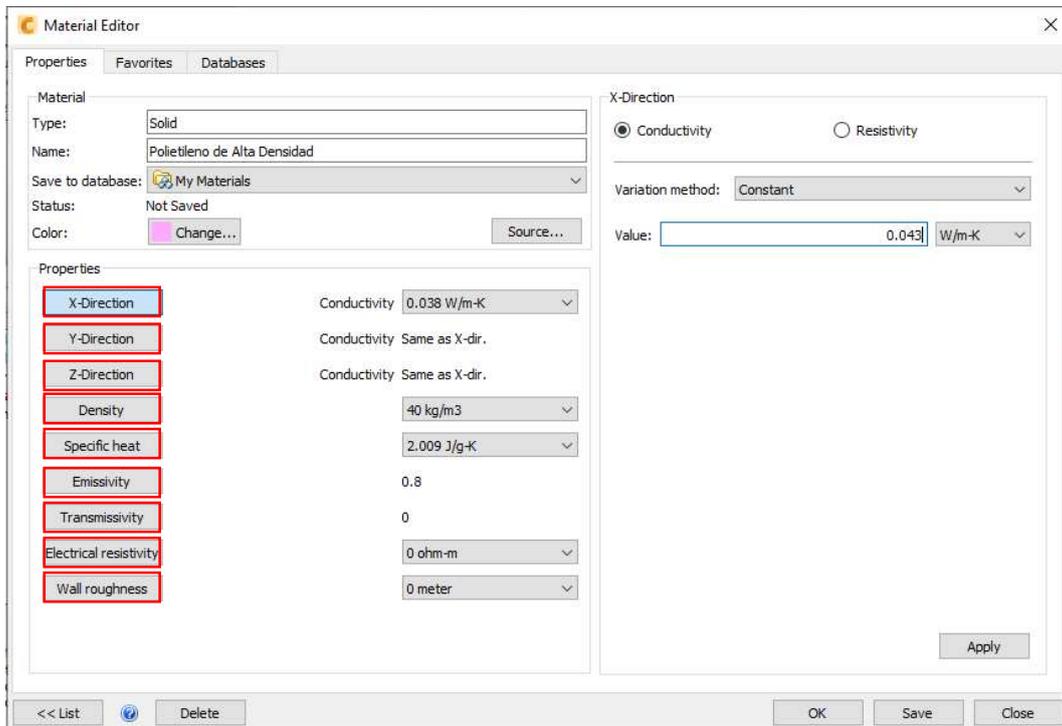


Figura 19: Modificación de Propiedades del Material en Inventor CFD

### 3.11.6 Ingreso de Datos Para ambiente Virtual Inventor CFD

En el programa CAE Inventor CFD 2022, los pasos para producir una simulación apegada a la realidad son más simplificados que en la mayoría de los programas como puede ser SolidWorks, Inspire, Hyperworks, etc., por lo que no resulta una complicación crear una simulación que muestre el cambio de temperatura a través del tiempo a través de las curvas de cambio de las condiciones iniciales.

Para empezar a establecer parámetros, se posee las siguientes herramientas:



, se debe iniciar la ambientación desde la herramienta más hacia la izquierda, que sería *Geometry Tools*, donde se puede juntar bordes, crear elementos

pequeños, rellenar vacíos y crear volúmenes externos



, para este caso de estudio, solamente se deberá crear un volumen externo donde se puedan establecer las condiciones de frontera, ya que ambas caja junto al PCM deben encontrarse a  $-5\text{ C}^{\circ}$ , por lo que no puede editarse en ellas.

Se procede con el apartado de materiales, donde se colocan los materiales de cada objeto ingresados a la simulación, no puede existir ningún elemento sin material ya que el programa no permite que se realice el cálculo térmico de las cajas.

Posteriormente se colocan las condiciones de frontera, estas se colocarán en las superficies del volumen externo para que simule un ambiente real, para editar las condiciones de frontera, se da clic en la opción “Editar”, se selecciona el tipo de condición, unidades, tiempo (Transitorio o Estático dependiendo del caso), valor/tiempo de curva (depende del tiempo) y si es estático o total,

esto se puede apreciar en la Figura 20. Se coloca las condiciones de temperatura a 25 C° constante en estado transitorio para que la simulación entre al rango de temperatura deseado.



Figura 20: Ingreso de Datos de Frontera

Se colocan las condiciones iniciales, para esto, se colocan sobre el volumen y no sobre las superficies, de esta manera, los resultados serán más fiables al permitir que todos los elementos en su totalidad tengan las condiciones y no solamente las superficies. Las condiciones iniciales son - 5 C° para la caja contenedora y el material PCM y de 25 C° el volumen de aire externo, esto último, para que igualmente, todo el volumen tenga una temperatura y no solamente las superficies.

Finalmente, se coloca el mallado, para el programa de Inventor CFD, el mallado puede realizarse de forma automática, seleccionando el tipo de mallado que se desea, puede ser al volumen del objeto en total, o a las superficies, en este caso se utiliza solamente a las superficies, ya que el mallado de volumen requiere un mayor poder de procesamiento, cosa que el equipo utilizado para esta simulación no puede entregar, en caso de presentar errores al intentar resolver la simulación, se puede intercambiar entre mallado de volumen y de superficie. Para que la malla se auto ajuste, se debe dar clic en el ícono de “AutoSizing”, para elegir el tipo de elemento, se puede utilizar el modo automático o manual en la sección de ”Tipo”, esto se observa en la Figura 20. Para entender las características de la malla final, número de elementos, tamaño de elementos, etc., se da clic en la opción de diagnóstico que se observa en la figura 22, de esta forma, se puede observar las mallas de superficie y bordes.

El tipo de elemento de malla que se seleccionó es cuadra, por dos razones, la primera es, que la geometría de los elementos permite que se pueda utilizar una malla cuadrada de manera uniforme, produciendo resultados más exactos, esto se puede apreciar en la Figura 17, la segunda es que al ser un análisis térmico simple y no sufrir de deformaciones mecánicas, no es necesario usar elementos de trías (triangulares) ni mixtos.

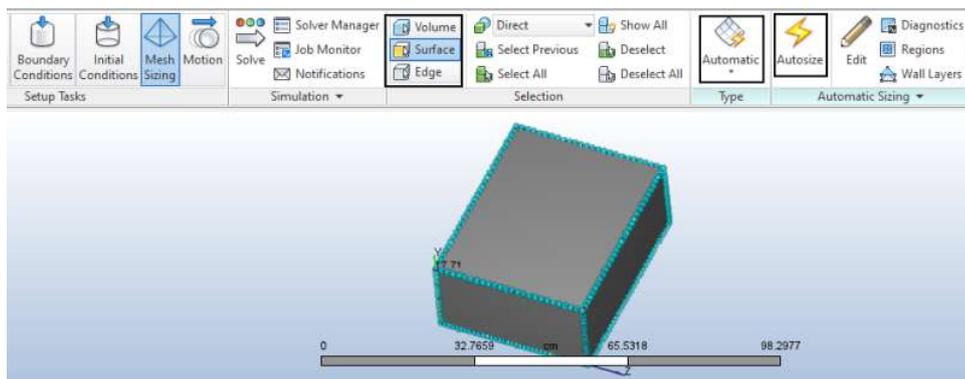


Figura 21: Configuración de Mallado

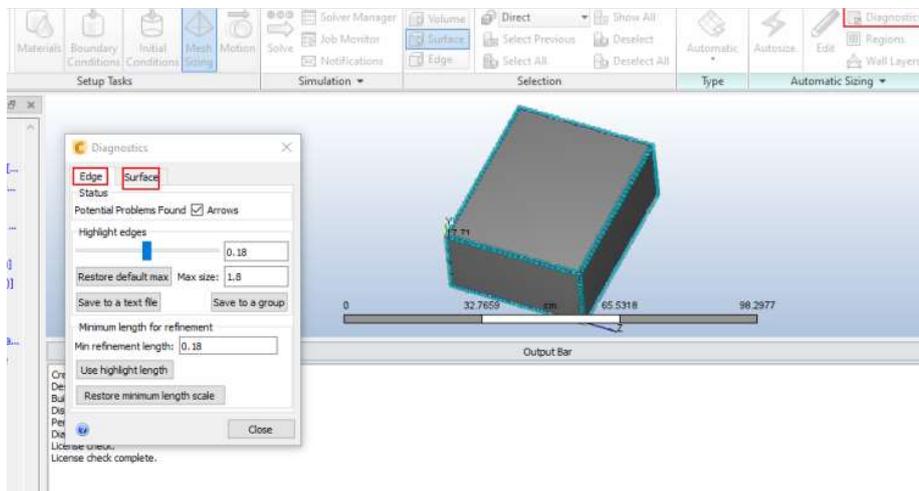


Figura 22: Características de Mallado

## 4. Resultados y Discusión de Resultados

### 4.1 Contenido Acuoso Extraído de las Semillas de Aguacate

Como puede observarse en la Tabla 11, la variación del peso en las diferentes muestras nos permite entender el contenido acuoso existente dentro de la materia prima (semilla de aguacate), si este contenido no es eliminado de las muestras a procesar y que serán sometidas a procesos de extracción, nos producirá un fenómeno de “ruido” a la hora de realizar un análisis por FTIR, ya que las curvas del agua ocupan una gran cantidad del espacio de las curvas espectrométricas y no permiten que el resto de componentes se observen con detalle, sumado a esto, ya que las muestras van a ser una mezcla agua-aceite, la presencia de un contenido de agua aún mayor puede aumentar el ruido, evitando así, apreciar el espectro del aceite.

Tabla 11: Control de Contenido Acuoso de la Materia Prima

Muestra	Peso de Bandeja Contenedora (g)	TP 1 (g)	TP 2 (g)	TP 3 (g)	TP 4 (g)	TP 5 (g)	TP 6 (g)	Peso Perdido (%)
1	7.95	485.2	401.22	291.34	249.07	229.82	220.76	44.59
2	8.04	435.69	305.00	192.02	188.06	186.06	184.93	41.36
3	8.01	512.13	278.60	219.95	217.26	216.35	215.52	41.16
4	7.96	504.39	371.22	214.10	204.66	202.98	201.80	39.05
5	8.00	521.66	395.9	243.25	230.11	227.00	225.26	42.3
6	7.95	511.87	383.31	247.24	235.17	232.83	231.33	44.33
7	8.06	513.45	361.83	245.98	240.27	238.45	237.46	45.39
8	7.94	434.96	292.95	235.46	231.51	230.33	229.34	51.85
9	8.10	479.85	287.68	261.23	258.87	257.71	256.79	52.72
10	8.01	539.21	335.11	287.84	284.47	282.60	281.38	51.46

Para el proceso de secado se dividió la materia prima en varias bandejas contenedoras de muestra para un secado rápido y uniforme, a su vez, se hicieron pesajes (TP) de todas las muestras al mismo tiempo en lapsos de 48 horas entre cada pesaje (un total de 12 días entre el inicio y el final del secado), después de retirar el peso de las bandejas, se observó una diferencia del 45.32%

promedio en todas las muestras, demostrando el efecto que posee un secado prolongado, y el cual se ve afectado en el aceite extraído posteriormente, ya que el contenido acuoso puede reaccionar con el diluyente orgánico que se está empleando, ya sea hexano, éter, alcoholes, etc.

#### 4.2 Comparación entre Diferentes Disolventes

En este ensayo inicial se comprueba el volumen final que se obtiene de muestra donde se puede observar en la Tabla 12 que el uso de combustible súper tiene una eficiencia muy parecida a la del hexano y posee una mayor accesibilidad que este, por lo que, según el enfoque que tiene está investigando, puede ser utilizada sin ningún inconveniente.

Tabla 12: Comprobación de Diferentes Solventes de Extracción

<b>Dato</b>	<b>Hexano</b>	<b>Éter de Petróleo</b>	<b>Cmb. Alto Octanaje</b>
$g_{SAg}$ (ml)	13.95	14.15	15.65
$V_d$ (ml)	52.3	50.2	50.4
$V_{mez}$ (ml)	35	22	35

Donde:

$g_{SAg}$  representa los g de semilla de aguacate

$V_d$  es el volumen de diluyente inicial que se coloca

$V_{mez}$  es el volumen obtenido después de filtrar las semillas bañadas en el disolvente

Para la obtención de la densidad del aceite se pesó una muestra de 10 ml en una balanza electrónica obviando el peso de la ampollita donde se encapsuló, se obtuvo el peso y se obtuvo como resultado una densidad de 0.9185 g/ml, este resultado se ve ligado a los procedimientos de extracción, sobre todo al disolvente utilizado, ya que existe un arrastre de materiales más allá de solo los aceites esenciales, triglicéridos y fosfolípidos, por lo que es un resultado dentro de lo esperado.

### 4.3 Ensayos Térmicos y Químicos

#### 4.3.1 Calorimetría Diferencial (DSC)

Bajo el ensayo de Calorimetría Diferencial de Barrido, se obtuvieron gráficas que muestran el proceso de fusión de las diferentes muestras, se puede apreciar que existen dos picos endotérmicos en cada ensayo, para WO-10ml están a 1.96 C° y 92.76 C°, para WO-7.5ml están a 2.14 C° y 93.02 C°, para WO-5ml están a 2.48 C° y 94.55 C° y para WO-2.5ml están a 1.68 C° y 92.30 C°, normalmente, deben existir 1 pico endotérmico, donde se realiza el proceso de absorción de calor, y otro endotérmico, donde este se libera, en este caso, cada pico representa una sustancia diferente, el primer pico se puede considerar como el pico del aceite de semilla o bien, de la emulsión más estable, que es del cual se obtienen los resultados para la simulación, mientras que el otro pico, es del agua, ya que en este rango de temperatura, el agua cambia de fase de líquido a gaseoso, cada pico endotérmico tiene diferentes niveles de pronunciación, lo que se traduce en diferentes entalpías específicas, entre más pronunciado un pico, mayor entalpía específica posee.

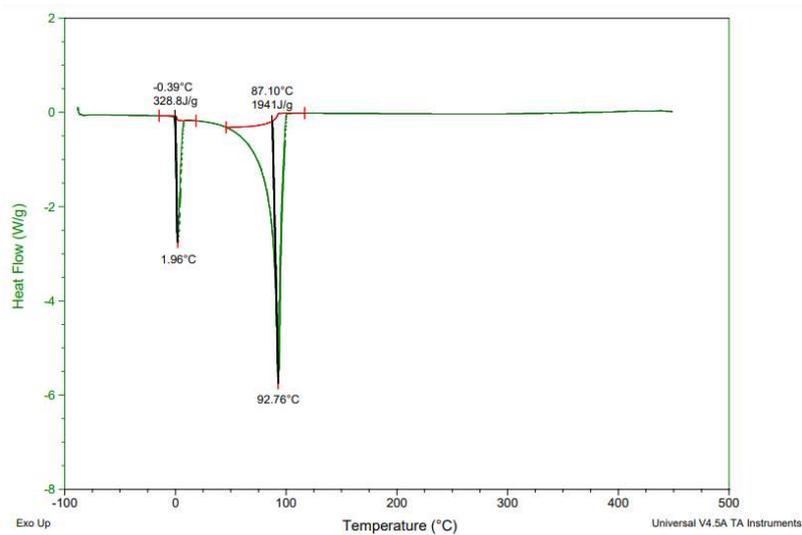


Figura 233: DSC WO-10ml

En la Figura 23, se observa un primer y segundo pico térmico con las menores entalpías específicas de todas las muestras, aunque con un rango de cambio de fase (línea roja) ligeramente mayor al mostrado en la Figura 24, por lo que será descartado para las simulaciones térmicas.

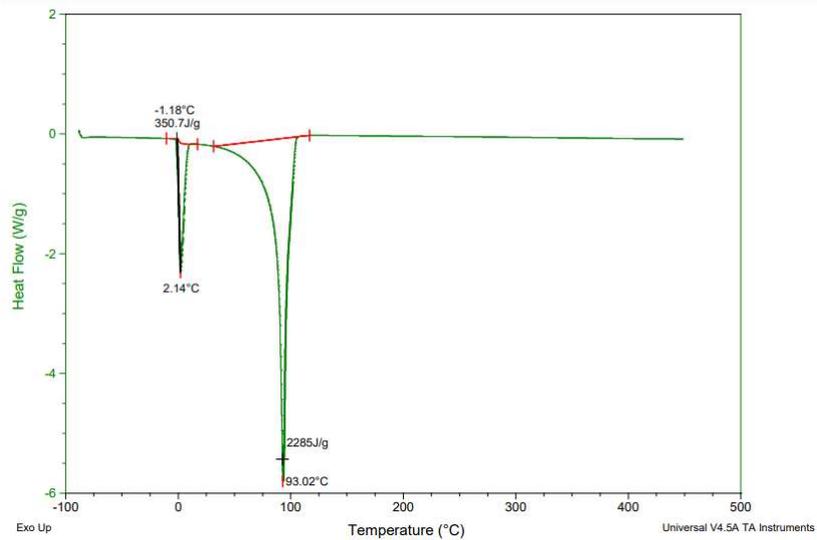


Figura 24: DSC WO-75ml

En la Figura 24, se puede apreciar, un primer pico térmico, el segundo más pronunciado de todas las muestras y posee un segundo pico el cual es el más pronunciado de entre todas las muestras analizadas, con un rango de cambio de fase bastante amplio, por lo que es un buen candidato de material para realizar las simulaciones posteriores.

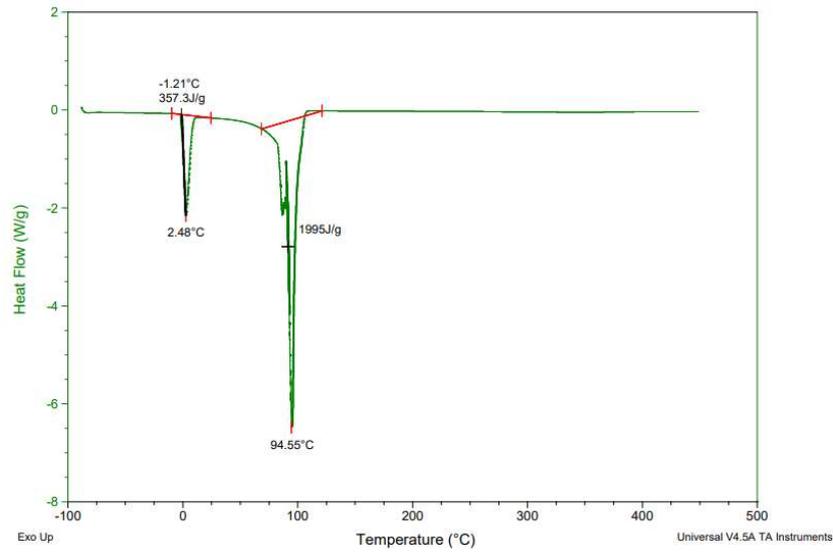


Figura 25: DSC WO-5ml

La Figura 25, muestra un primer pico mucho más pronunciado que las demás muestras, aunque ligeramente más estrecho, y un segundo pico ligeramente mayor al de la Figura 22, igualmente, más estrecho que los picos de las demás muestras, reduciendo su rango de trabajo pero dándole mejores propiedades térmicas dentro de la zona de temperatura.

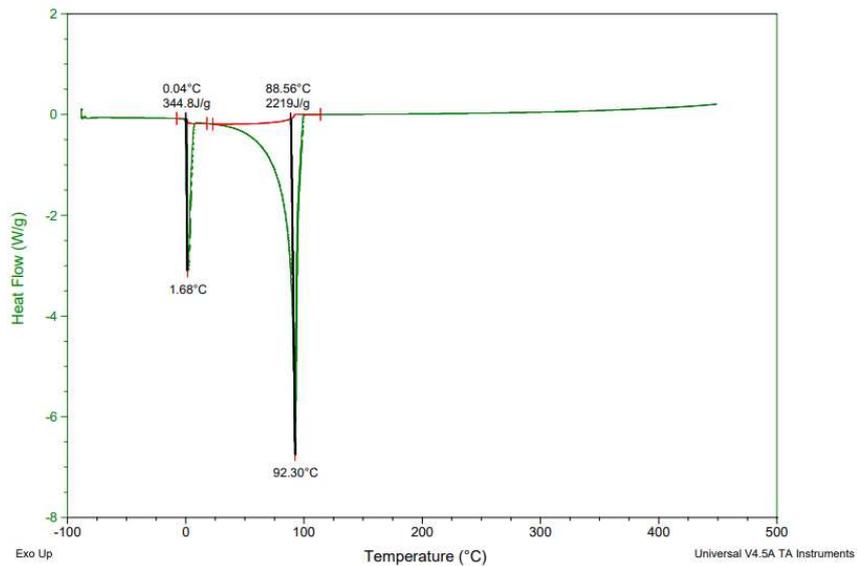


Figura 26: DSC WO-2.5ml

La Figura 26, muestra picos menos pronunciados que las Figuras 23 y 24, aunque estos son muchos más anchos, con un área de cambio de fase mucho más amplia.

Como se aprecia en la Tabla 13, el calor latente de fusión y la temperatura de los PCM para diferentes proporciones de muestra no presentan una variación notable entre las muestras WO-5 y WO-7.5 y entre las muestras WO-10 y WO-2.5, los picos que se presentan lo hacen a temperaturas cercanas, las composiciones donde se presentan mayor calor latente son 350,7 J/g y 357,3 J/g para WO-5 y WO-7.5 respectivamente.

Tabla 13: Datos Obtenidos de la Calorimetría Diferencial de Barrido de Mezcla Agua- Aceite de Aguacate

Muestra	Trans. 1	Trans. 1	Trans. 2	Trans. 2
	(TI, TM, TF)	(Entalpía)	(TI, TM, TF)	(Entalpía)
	(°C)	(J/g)	(°C)	(J/g)
<b>WO-10</b>	-7~-6	328.8	51~52	1941
	1,96		92,76	
	-0,39		87,1	
<b>WO-7.5</b>	-5~-4	350,7	44~45	2285
	2,14		93,2	
	-1,18		-80	
<b>WO-5</b>	-4~-3	357,3	56~57	1995
	2,48		94,5	
	-1,21		84~85	
<b>WO-2.5</b>	-2~-1	344,8	39~40	2219
	1,68		88,56	
	0,04		92,3	

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

Para los datos ingresados en la simulación se ha tomado en cuenta la muestra WO-5 y WO-7.5 al tener las mejores entalpías de cambio de fase y tener mejor costo-beneficio en una aplicación real de tamaño industrial. Los datos se han obtenido en promedio desde los -7 C° hasta la finalización del cambio de fase.

### 4.3.2 Espectroscopía Infrarroja (FTIR)

En la Figura 27 hasta la 30 se indican los espectros FTIR de las diferentes composiciones de las muestras, en las cuales se observan que se encuentran en ellas bandas comunes asociadas principalmente a los lípidos ya que los picos principales son angostos e intensos, con esto se puede confirmar presencia de aceite. En todas las gráficas se han retirado los espectros correspondientes al Oxígeno (O<sub>2</sub>), para un mejor análisis, no se puede retirar el espectro del agua ya que esta es una emulsión. Cada ensayo de FTIR va acompañado de una tabla donde se observan los picos y la intensidad de cada uno. Los valores inferiores a 800 son parte de un patrón conocido como “huella dactilar”, único de cada compuesto, el cual presenta una elevada complejidad de extracción de datos, por lo que se va a omitir su análisis.

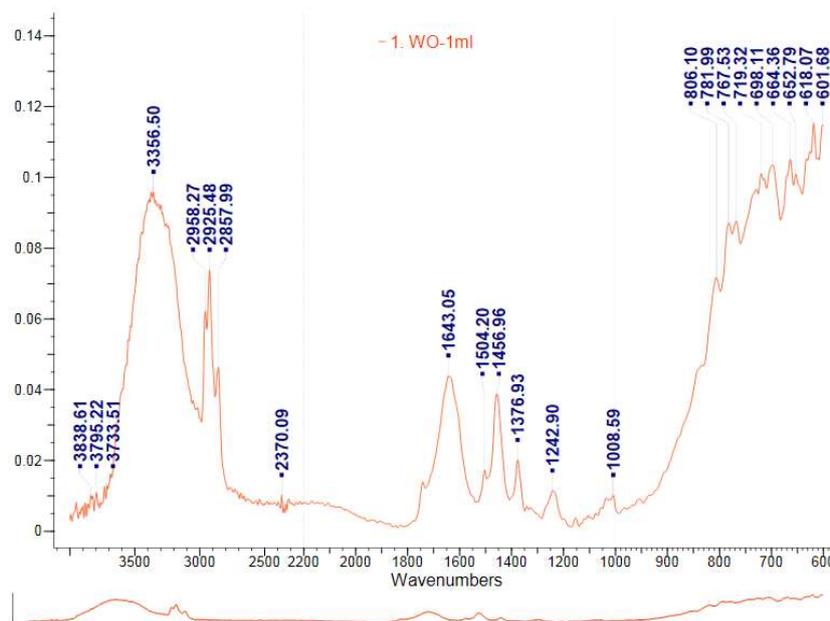


Figura 27: Espectro FTIR para muestra WO-10

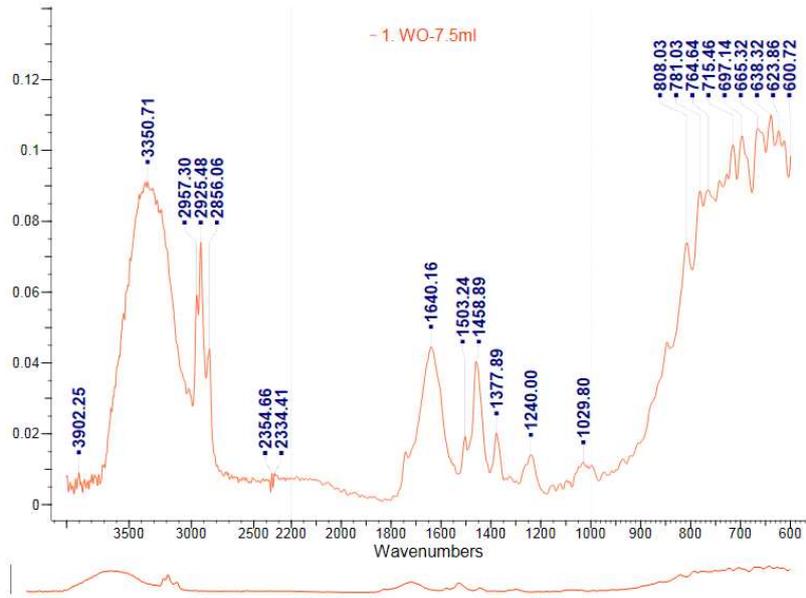


Figura 28: Espectro FTIR para muestra WO-7.5

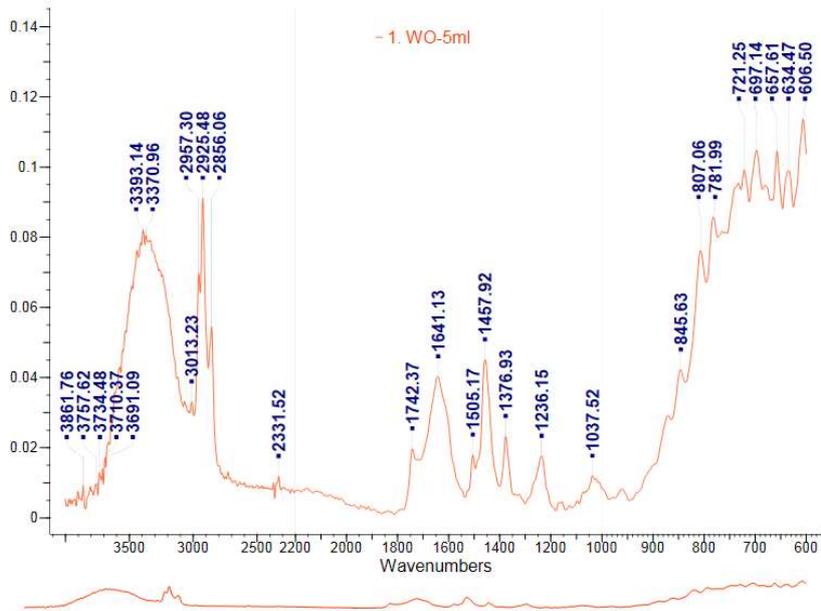


Figura 29: Espectro FTIR para muestra WO-5

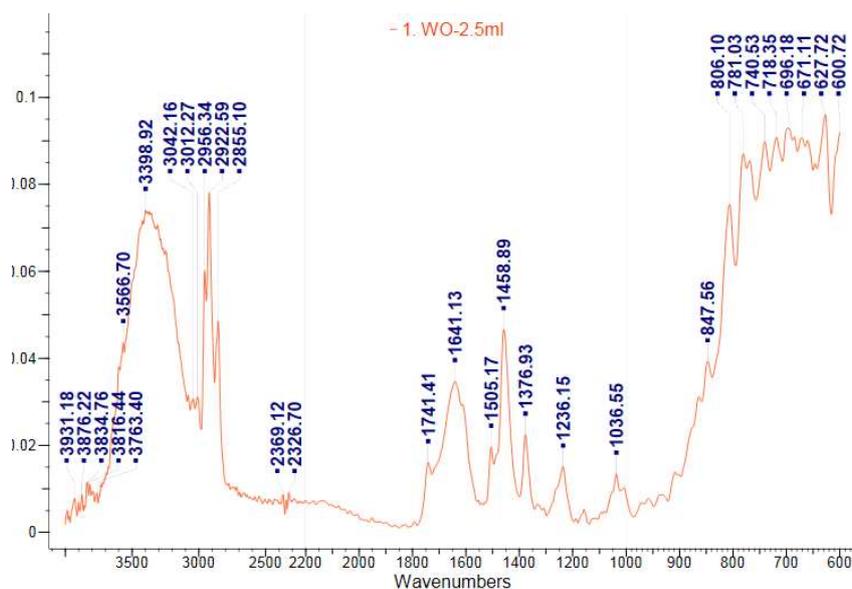


Figura 30: Espectro FTIR para muestra WO-2.5

Los grupos funcionales, modos vibracionales y orígenes van a ser obtenidos, mediante las tablas de Espectros infrarrojos de F. Rojo (2000) y el libro “*Espectroscopía de Infrarrojos para Todos*” de P. Mondragón (2015). El modo Vibracional hace referencia a la forma que poseen los picos más importantes de la gráfica de FTIR, con esto y la intensidad del pico, se puede identificar el grupo funcional al que pertenece dicho pico y así entender la composición del material.

Tabla 14: Frecuencia, Intensidad y Asignación del Espectro de FTIR para WO-10

Pico	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
601.68	99.58	-	-
618.07	100.00	-	-
652.79	87.62	-	-
664.36	91.17	-	-
698.11	89.85	-	-
719.32	87.72	-	-
767.53	76.09	-	-
781.99	75.59	-	-

806.10	62.21	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1008.59	8.85	C-H (Carbohidratos)	Estiramiento-Balanceo
1242.90	9.94	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1376.93	17.44	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1456.96	33.64	R-OH (Alcohol)	Torsión
1504.20	14.99	R-OH (Alcohol)	Torsión
1643.05	38.14	Enlace H-O-H	Estiramiento
2370.09	8.86	C≡C (Alquino)	Estiramiento
2857.99	40.16	CH <sub>3</sub>	Estiramiento, asimétrico
2925.48	64.11	CH <sub>3</sub>	Estiramiento, asimétrico
2958.27	54.00	CH <sub>3</sub>	Estiramiento, asimétrico
3356.50	83.22	Enlace O-H (Agua)	Estiramiento
3733.51	10.98	Ruido	-
3795.22	9.59	Ruido	-
3838.61	<b>8.85</b>	<b>Ruido</b>	-

En la Tabla 14, se puede observar la presencia de grupos C-O/C-C, carbohidratos, y CH<sub>3</sub>, grupos comunes en compuestos orgánicos como el aceite, la mayoría de estos vibran por estiramiento, de los más normales y comunes presentes en la naturaleza junto a los modos de torsión y flexión, mientras que los enlaces H-OH y O-H son respectivos del agua, estos también, son la causa del ruido en los datos mostrados en la tabla, finalmente, se observan moléculas de alcohol y alquinos, partes del solvente usado para la extracción.

Tabla 15: Frecuencia, Intensidad y Asignación del Espectro del FTIR para WO-7.5

Pico	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
600.72	86.93	-	-
623.86	95.98	-	-
638.32	100.00	-	-
665.32	96.49	-	-
697.14	94.68	-	-
715.46	92.37	-	-
764.64	80.78	-	-
781.03	80.52	-	-
808.03	67.27	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1029.80	10.90	C-H (Carbohidratos)	Estiramiento-Balanceo
1240.00	12.82	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1377.89	18.34	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1458.89	36.73	R-OH (Alcohol)	Torsión
1503.24	17.53	R-OH (Alcohol)	Torsión
1640.16	40.54	Enlace H-O-H	Estiramiento
2334.41	8.16	C≡C (Alquino)	Estiramiento
2856.06	39.95	CH <sub>3</sub>	Estiramiento, asimétrico
2925.48	67.33	CH <sub>3</sub>	Estiramiento, asimétrico

Al igual que en la Tabla 14, la presencia de moléculas de agua en la muestra produce una gran cantidad de ruido en la banda de 3600 a 4000 cm<sup>-1</sup>, se observa la presencia de grupos carbohidratos, C-O/C-C y CH<sub>3</sub> respectivos del aceite y grupos alquinos y R-OH, moléculas de solvente orgánico dentro de la muestra.

2957.30	53.81	CH3	Estiramiento, asimétrico
3350.71	82.88	Enlace O-H (Agua)	Estiramiento
3902.25	8.32	Ruido	-

Tabla 16: Frecuencia, Intensidad y Asignación del Espectro del FTIR para WO-5

Pico	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
606.50	100.00	-	-
634.47	87.13	-	-
657.61	92.01	--	-
697.14	92.20	-	-
721.25	87.28	-	-
781.99	75.39	-	-
807.06	67.01	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
845.63	37.15	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1037.52	10.50	C-H (Carbohidratos)	Estiramiento-Balanceo
1236.15	15.50	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1376.93	20.45	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1457.92	39.68	R-OH (Alcohol)	Torsión
1505.17	15.80	R-OH (Alcohol)	Torsión
1641.13	35.39	Enlace H-O-H	Estiramiento
1742.37	17.33	Ruido	-
2331.52	10.44	C≡C (Alquino)	Estiramiento
2856.6	47.92	CH3	Estiramiento, asimétrico
2915.48	80.20	CH3	Estiramiento, asimétrico
2957.30	61.27	CH3	Estiramiento, asimétrico
3013.23	29.13	CH2 (Carbohidrato)	Estiramiento
3370.96	70.94	CH2 (Carbohidrato)	Estiramiento
3393.14	72.29	Enlace O-H (Agua)	Estiramiento
3691.09	15.14	Ruido	-
3710.37	12.40	Ruido	-
3734.48	11.41	Ruido	-
3757.62	8.61	Ruido	-
3861.76	8.09	Ruido	-

Al igual que en las tablas anteriores, la presencia de grupos H-O-H y O-H pertenecientes al agua explican la presencia de ruido increíblemente alta, solo que, a diferencia de los datos previos, se puede observar presencia de grupos CH3 y CH2, que de igual manera muestran la presencia del aceite en la muestra pero con menor presencia de carbono, y una mayor presencia de carbohidratos en las bandas más grandes de la tabla.

Tabla 17: Frecuencia, Intensidad y Asignación del Espectro del FTIR para WO-2.5

Pico	Intensidad	Grupo Funcional	Modo Vibracional
600.72	95.37	-	-
627.72	100.00	-	-
671.11	94.46	-	-
696.18	96.83	-	-
718.35	94.60	-	-
740.53	93.53	-	-
781.03	90.66	-	-
806.10	78.53	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
847.56	40.89	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1036.55	13.98	C-H (Carbohidratos)	Estiramiento-Balanceo
1236.15	15.66	C-O, C-C	Estiramiento-Balanceo
1376.93	23.32	C-H (Carbohidratos)	Estiramiento-Balanceo
1458.89	48.58	R-OH (Alcohol)	Torsión
1505.17	20.42	R-OH (Alcohol)	Torsión
1641.13	36.14	Enlace H-O-H	Estiramiento
1741.41	16.73	Ruido	-
2326.70	9.58	C≡C (Alquino)	Estiramiento
2369.12	9.06	C≡C (Alquino)	Estiramiento
2855.10	50.61	CH3	Estiramiento, asimétrico
2922.59	81.40	CH3	Estiramiento, asimétrico
2956.34	62.68	CH3	Estiramiento, asimétrico
3012.27	32.36	CH2 (Carbohidrato)	Estiramiento
3042.16	32.06	CH2 (Carbohidrato)	Estiramiento
3398.92	77.18	Enlace O-H (Agua)	Estiramiento
3566.70	45.48	Ruido	-
3763.40	9.48	Ruido	-
3816.44	11.55	Ruido	-
3834.76	12.07	Ruido	-
3876.22	8.99	Ruido	-
3931.18	8.18	Ruido	-

Se puede observar en la tabla 17, la presencia de H-O-H y O-H, grupos específicos del agua, curiosamente la presencia de grupos C-O, C-C, C-H, CH3 y CH2, correspondientes al aceite, es más notoria en esta muestra a pesar de contener menor porcentaje del mismo, aunque en grupos funcionales más simples, y la presencia del grupo alquino y de alcoholes es más fuerte, probablemente, el solvente usado en extracción estuvo presente en mayor porción en esta muestra, dividiendo los grupos funcionales, produciendo grupos más simples.

Como se puede apreciar en las diferentes tablas, se observa la presencia de grupos CH correspondientes al aceite y ciertos aromáticos posiblemente del disolvente, que hubiese quedado presente en las muestras. Se puede apreciar 2 picos constantes en todas las muestras en los 3300 y 1600, correspondientes al agua, y a su vez, se observa, más profundamente en las muestras WO-5 y WO-2.5, la presencia, de “**Ruido**”, producto de la parte acuosa del agua pura y posiblemente de elementos no deseados producto del disolvente, por lo que no se puede diferenciar todos los grupos funcionales en las regiones de donde existen estas interferencias, pero en lo general, se puede observar los grupos funcionales de mayor interés de cada muestra, por lo que no existe mayor problema. Adicional, se puede observar que las muestras WO-2.5 presenta un grupo C-H adicional, el cual puede hacer referencia a una mayor presencia de solvente o elementos del solvente en esta muestra específica.

#### 4.3.3 Termogravimetría (TGA)

En esta sección, se expondrán los resultados del análisis termogravimétrico de las diferentes muestras, donde se visualiza la estabilidad química del material, o, en otras palabras, la temperatura desde la cual el material empieza a degradarse.

En las figuras 31, 32, 33 y 34, se encuentran las curvas termogravimétricas para los diferentes porcentajes de composición del aceite, al lado izquierdo de cada gráfica se presenta la curva con atmósfera inerte de nitrógeno, donde solamente se presenta el efecto de la temperatura sobre la muestra, al lado derecho, está la curva de análisis con aire, para mostrar el efecto de tanto la temperatura como el oxígeno presente en el aire, para de esta forma presentar su degradación mediante la oxidación.

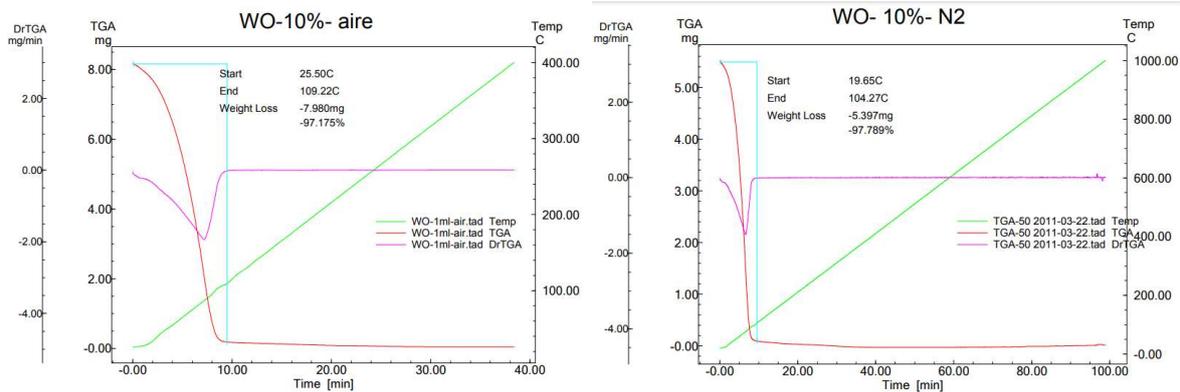


Figura 31: Curvas Termogravimétricas WO-10 en atmósfera de aire y N2 a +10 C° /min

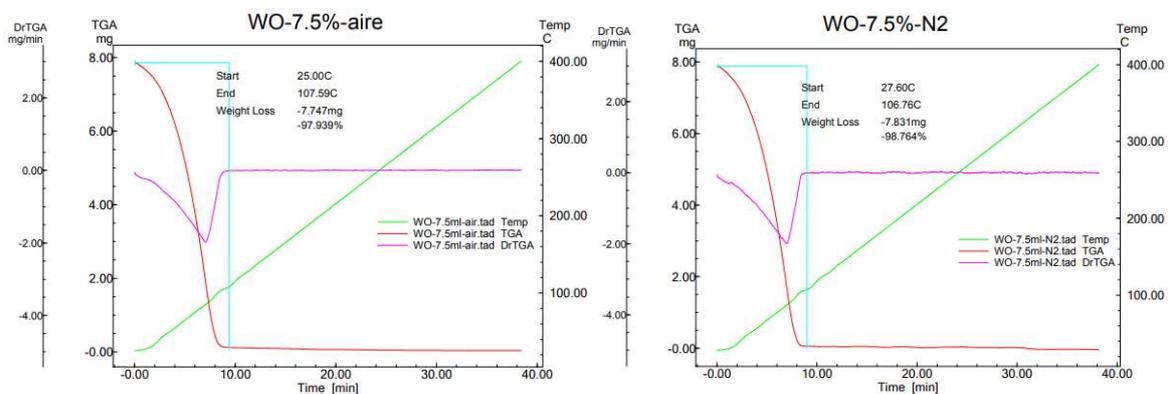


Figura 32: Curvas Termogravimétricas WO-7.5 en atmósfera de aire y N2 a +10 C° /min

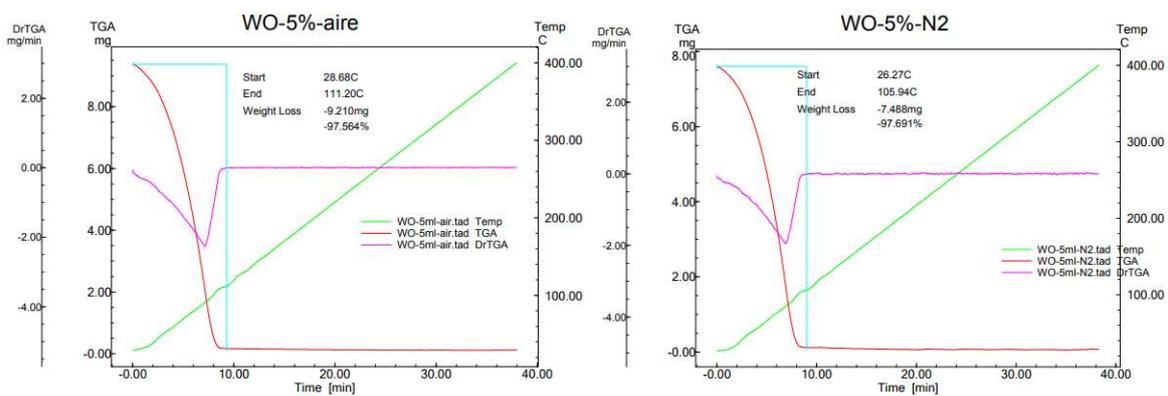


Figura 33: Curvas Termogravimétricas WO-5 en atmósfera de aire y N2 a +10 C° /min

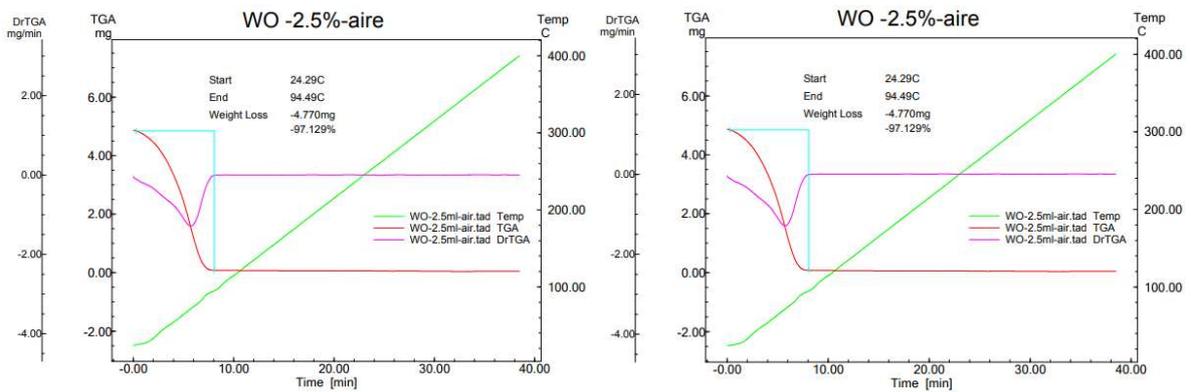


Figura 34: Curvas Termogravimétricas WO-2.5 en atmósfera de aire y N2 a +10 C° /min

En la Tabla 17, se detallan los datos obtenidos de las curvas termo dinámicas, es así que se puede observar en todas las muestras, tienen una acelerada variación del peso hasta aproximadamente los 600 segundos de haber iniciado el ensayo, donde este deja de variar, la pérdida de masa promedio de las muestras desde la temperatura ambiente hasta los 120 C°, en atmósfera de aire es de 97.452% mientras que en atmósfera de N2 es de 98.028%, es decir, existe un deterioro de 0.576% mayor en atmósfera inerte, que en atmósfera de aire.

Tabla 18: Resultados TGA para Diferentes Muestras

Muestra	Atmósfera	Temp. Inicial (C°)	Temp. Final (C°)	Masa Inicial (mg)	Pérdida de Masa (mg)	Porcentaje de Pérdida (%)
WO-10	Nitrógeno	19.65	104.27	5.519	-5.377	97.789
	Aire	25.50	109.22	8.212	-7.980	97,175
WO-7.5	Nitrógeno	27.60	106.76	7.929	-7.831	98.764
	Aire	25.00	107.59	7.910	-7.747	97.939
WO-5	Nitrógeno	26.27	105.94	7.665	-7.488	97.691
	Aire	28.68	111.20	9.440	-9.210	97.564
WO-2.5	Nitrógeno	26.28	91.04	4.829	-4,726	97.867
	Aire	24.29	94.49	4.911	-4.770	97.129

De las pruebas termogravimétricas se puede determinar que los PCMs no presentan degradación cuando se exponen a bajas temperaturas, además de que la pérdida de masa desde la temperatura ambiental hasta temperaturas cercanas a 100 C°, es cercana al 97.74%, esto debido a su composición +90% agua- ±10% aceite, por lo que, su rango de temperatura es mucho menor al del aceite de semilla expuesto por E. Reyes (2020), y a su vez, es mayor al del agua pura, por lo que se demuestra el efecto que tiene el aceite en el compuesto, y la alteración de su rango de trabajo menor a 100 C°.

Puede observarse en la Tabla 18, que con una atmósfera inerte controlada la degradación térmica es ligeramente menos precipitada en todas las muestras, y a su vez, la temperatura máxima de la muestra es menor que las temperaturas máximas de las mismas muestras en atmósfera de aire.

Se puede observar en la línea de temperatura (línea verde) de las termogravimetrías, que sufre dos ligeras deformaciones muy cercanas entre ellas, estas se dan cerca de los 100 C°, confirmando que existe un cambio de fase en el agua, esto nos dice que la muestra no estuvo homogénea durante el ensayo, la explicación para esto se encuentra en la composición de las muestras, al ser agua-aceite, incluso con el uso de emulsionante, el riesgo de separación en volúmenes pequeños es alta.

#### *4.3.4 Simulación en Ambiente Virtual*

En este apartado se observa los resultados de las diferentes simulaciones al cabo de 7 horas con Steps de 900 segundos. Como observación, los ejes X, Y y Z son ejes de dimensionamiento, mas no de temperatura, por lo que no se toman en cuenta en este análisis, la escala de temperatura adjunta a las diferentes Figuras nos muestra el espectro de térmico de cada simulación en cada

plano. Los rangos de temperatura que se describen son máximos y mínimos dentro de cada elemento (PCM y Aire Interno) y escala adjunta.

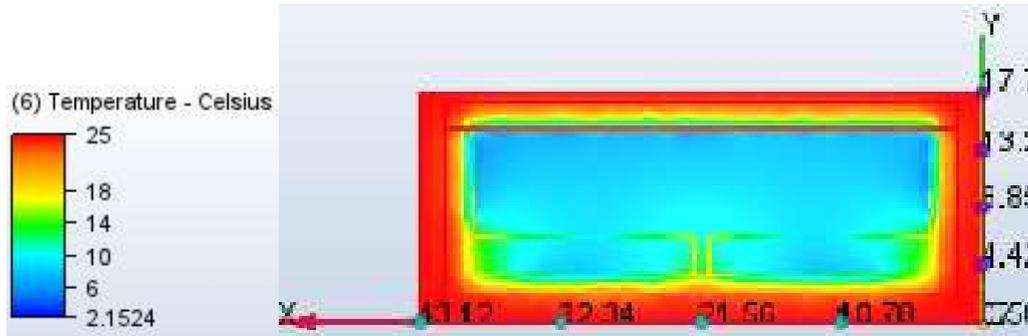


Figura 35: Simulación Sin PCM en el plano XY

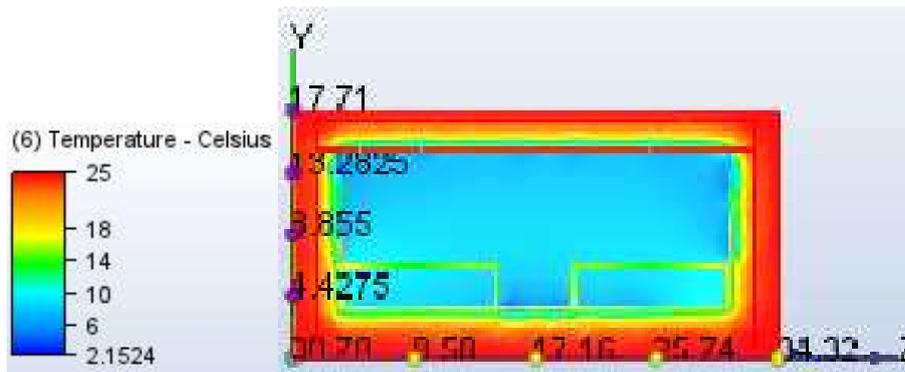


Figura 36: Simulación sin PCM en el plano YZ

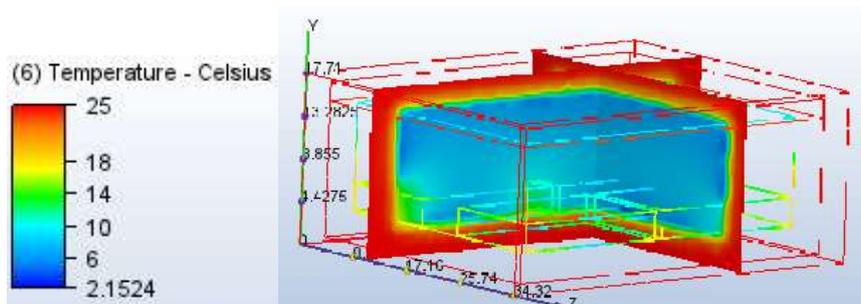


Figura 37: Simulación sin PCM en vista ISO

En la Figura 35 y 36, se puede observar como la temperatura del aire interno de la caja se mantiene en el rango de  $6\text{ C}^\circ$  y  $10\text{ C}^\circ$  en casi toda su totalidad, mientras que las pilas (espacios cuadrados en la parte inferior) muestran un aumento de temperatura en el rango de  $6\text{ C}^\circ$  a  $14\text{ C}^\circ$ , existe un

aumento de temperatura de  $7.15\text{ C}^\circ$  dentro de la caja o un aumento de  $1.021\text{ C}^\circ/\text{hora}$  promedio, un aumento mayor a lo informado por el fabricante, aunque se encuentra dentro de los rangos de trabajo establecidos en la investigación. En la Figura 37, se puede apreciar que el contorno de todas las pilas de PCM tienen un comportamiento similar entre sí, con temperaturas entre  $14\text{ C}^\circ$  y  $20\text{ C}^\circ$  en sus extremos, y en los vértices más al interior de la caja térmica, temperaturas de  $6\text{ C}^\circ$  a  $10\text{ C}^\circ$ .

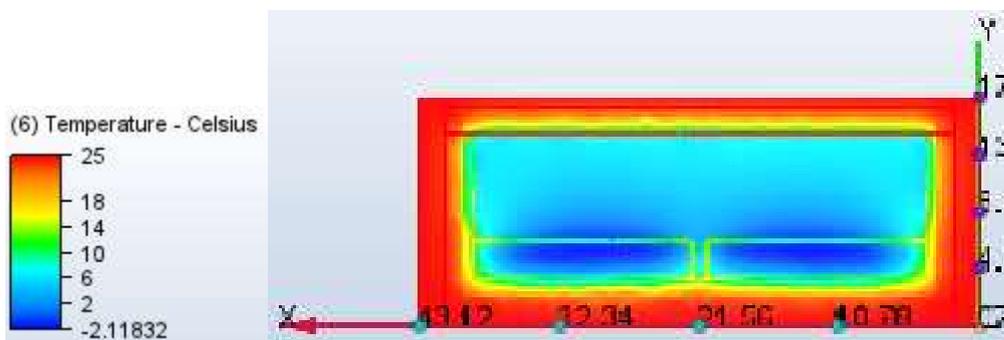


Figura 38: Simulación con PCM Agua en el plano XY

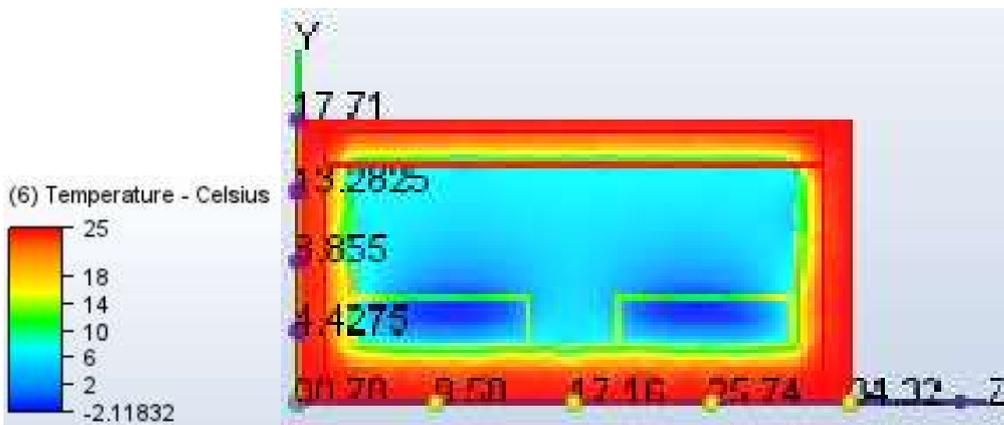


Figura 39: Simulación con PCM Agua en el plano YZ

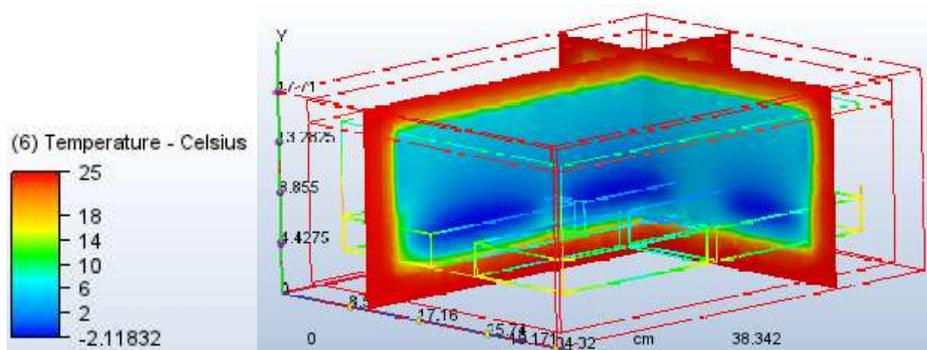


Figura 40: Simulación con PCM Agua en vista ISO

Se puede observar en la Figura 38 y 39, que las temperaturas internas de las pilas, una mayor parte se encuentra entre  $-2.12\text{ C}^\circ$  y  $6\text{ C}^\circ$ , indicando el funcionamiento óptimo del agua para la refrigeración, junto a esto, la temperatura del aire dentro de la caja P10, tiene un rango mucho mayor que la mostrada en la Figura 35, entre  $-2.12\text{ C}^\circ$  y  $10\text{ C}^\circ$  aunque las altas temperaturas son en los bordes, indicando que después de 7 horas el agua funciona perfectamente para mantener las condiciones ideales dentro de la caja. Existe una caída de temperatura de  $0.411\text{ C}^\circ/\text{hora}$  promedio, un  $59.745\%$  menor que la Figura 35. Se observa en la Figura 40 que las temperaturas en los bordes exteriores de las pilas PCM varían entre  $6\text{ C}^\circ$  y  $18\text{ C}^\circ$ , mientras que las regiones más cercanas al aire interior de la caja térmica se encuentran en un rango de  $6\text{ C}^\circ$  a  $-2.11\text{ C}^\circ$ .

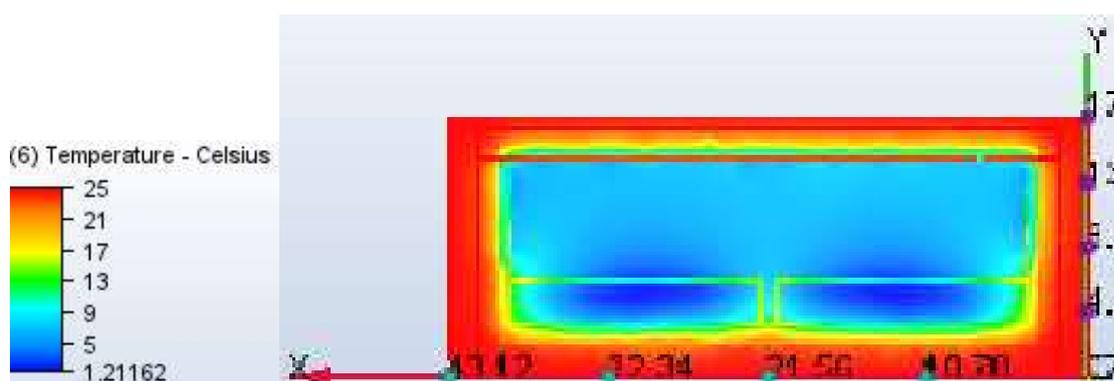


Figura 41: Simulación con PCM Aceite en el plano XY, b) YZ y c) Vista ISO

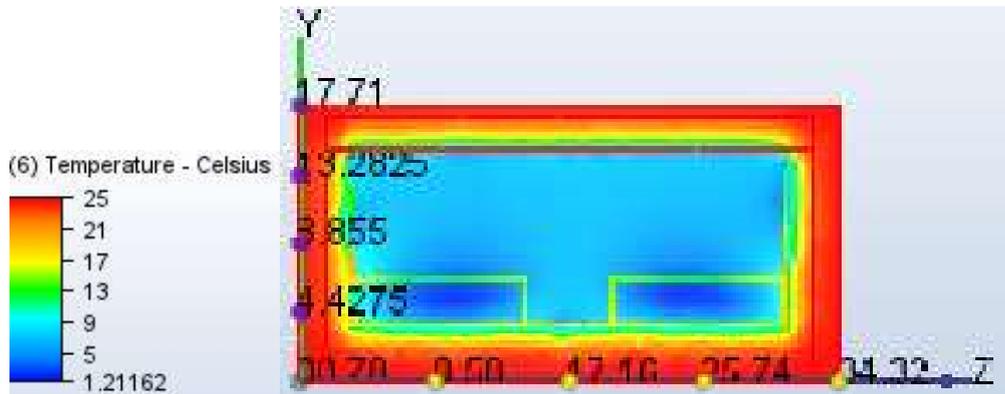


Figura 42: Simulación con PCM Aceite en el plano YZ

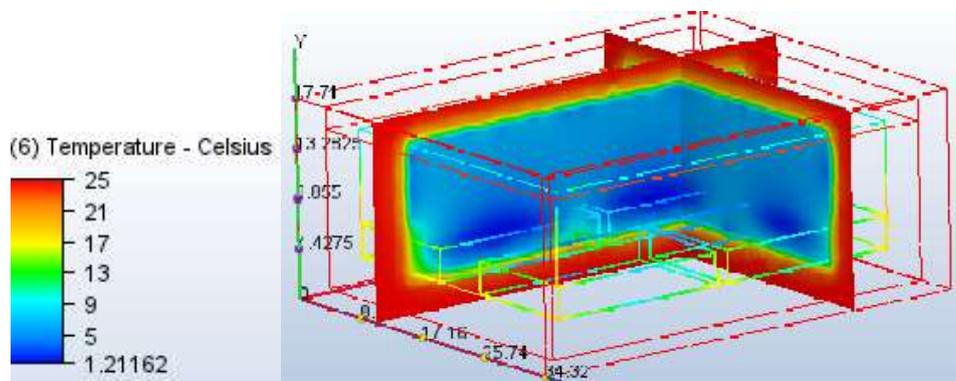


Figura 43: Simulación con PCM Aceite en vista ISO

En la Figura 41 y 42 se puede observar que el aire interno se encuentra en el rango de  $-1.21\text{ C}^\circ$  y  $9\text{ C}^\circ$ , mientras que las pilas están entre  $-1.21\text{ C}^\circ$  y  $15\text{ C}^\circ$ , indicando que, a pesar de trabajar en los rangos de esta investigación, posee menor efectividad que los demás materiales PCM presentados en este apartado. Existe una caída de temperatura de  $0.887\text{ C}^\circ/\text{hora}$  promedio, un 13.12% menor que la Figura 35. La figura 43 permite observar, que al igual que en la Figura 40, existen rangos de temperatura  $6\text{ C}^\circ$  a  $18\text{ C}^\circ$ , aunque, las secciones más cercanas al interior de la caja térmica, solamente se encuentran entre  $5\text{ C}^\circ$  y  $9\text{ C}^\circ$ .

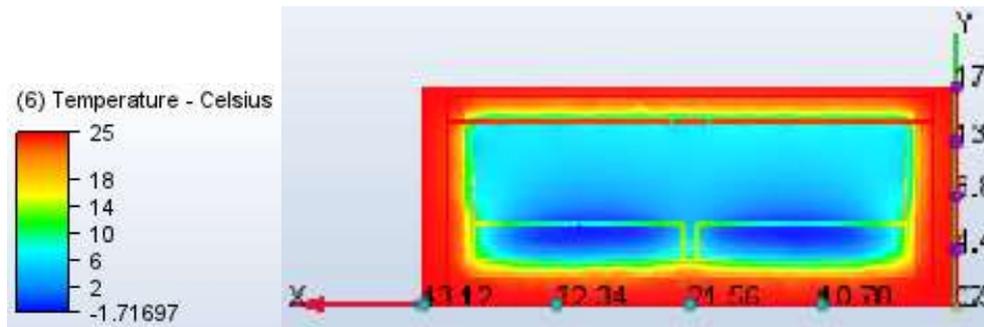


Figura 44: Simulación con PCM WO-7.5 en plano XY

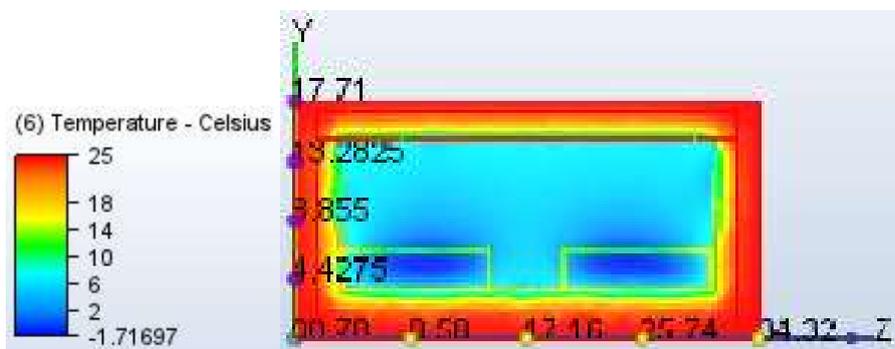


Figura 45: Simulación con PCM WO-7.5 en plano YZ

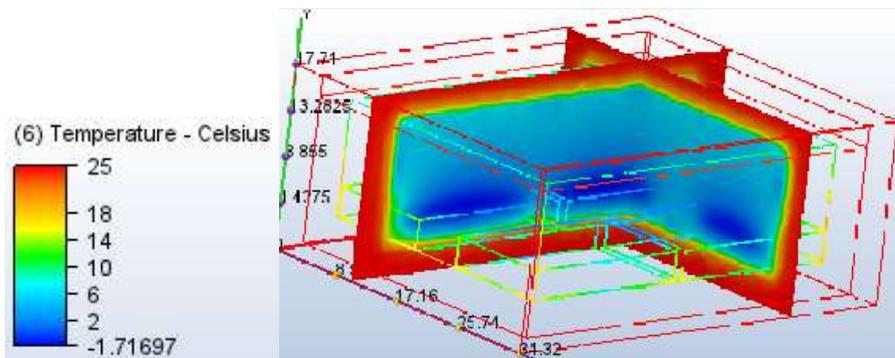


Figura 46: Simulación con PCM WO-7.5 en plano ISO

En la Figura 44 y 45 se puede observar que el interior de las pilas se encuentra en un rango de temperatura bajo, de entre  $-1.72\text{ C}^\circ$  a  $14\text{ C}^\circ$ , el aire de la caja se encuentra entre  $-1.71\text{ C}^\circ$  a  $6\text{ C}^\circ$ , indicando que el material funciona correctamente para mantener la temperatura interna eficientemente, la caída de temperatura es de  $0.469\text{ C}^\circ/\text{hora}$ , un  $54.07\%$  menor que la Figura 35. Se observa en la Figura 46 que los bordes externos de las pilas PCM se encuentran en un rango de

10 C° a 18 C°, y sus bordes más cercanos al aire interno de la Caja térmica se encuentran entre 6 C° y -1.71 C°.

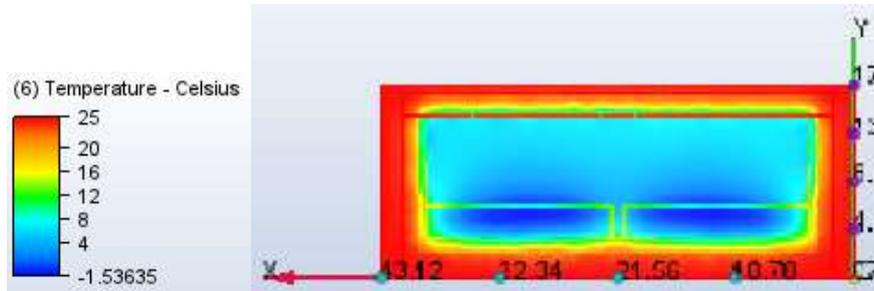


Figura 47: Simulación con PCM WO-5 en Plano XY

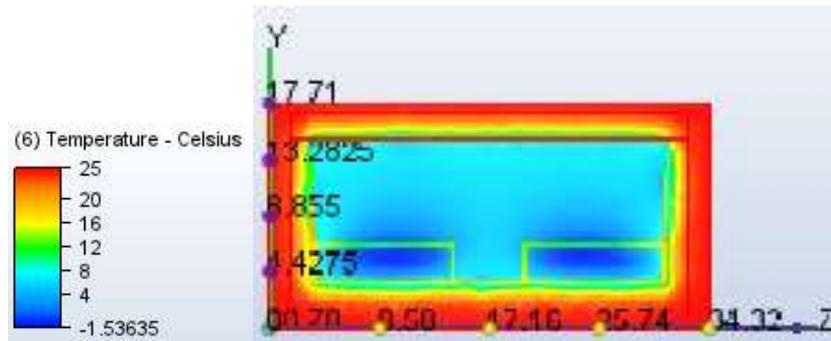


Figura 48: Simulación con PCM WO-5 en Plano YZ

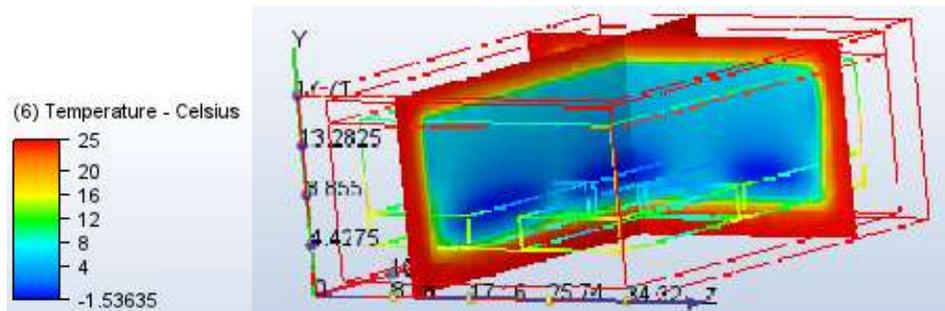


Figura 49: Simulación con PCM WO-5 en Vista ISO

En la Figura 47 y 48 se observa, al igual que en la Figura 32 y 34, que la temperatura a la que está el material PCM, se encuentra en los rangos de -1.54 C° y 16 C°, un rango inusualmente alto, mientras que el aire interior se encuentra entre -1.54 y 8 C°, por lo que tiene una capacidad de trabajo muy efectiva, posee una gradiente de temperatura de 0.499 C°/hora, un 50.886% menor

que la Figura 35. Se observa en la Figura 49 que los bordes más externos se encuentran en un rango de temperatura mucho mayor a los demás materiales, de entre 8 C° a 16 C°, y de forma más uniforme, en sus secciones más cercanas al aire interno de la caja térmica, las temperaturas se encuentran entre 8 C° y -1.53 C°, igualmente, de forma más uniforme.

#### 4.4 Discusión de Resultados

##### 4.4.1 Calorimetría Diferencial de Barrido

Para una mejor comparativa entre las muestras y otros materiales PCM, se utilizó los datos expuestos por Rasta y Suamir (2018) y Evelyn Reyes (2020).

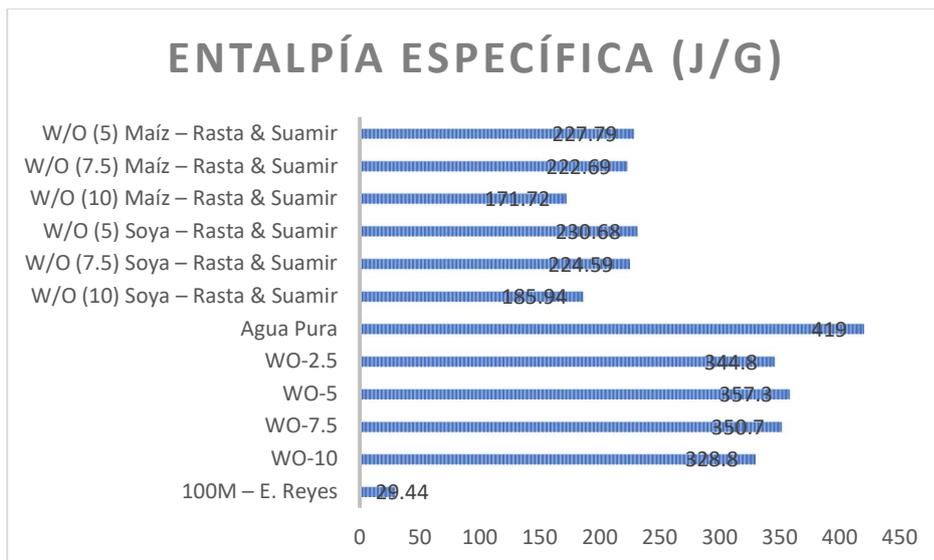


Figura 50: Entalpías Específicas de diversos Materiales PCM

En a Figura 50, se puede apreciar como el agua pura posee una mayor cantidad de entalpía específica que el resto de materiales PCM, seguidos por las muestras WO de aceite de aguacate, posteriormente las muestras WO de Rasta & Suamir, y finalmente con la muestra de aceite puro de aguacate, como un punto de interés, se puede observar que tanto en la muestra WO de Rasta & Suamir como en las muestras de esta investigación, los compuestos con 10% de concentración poseen menor entalpía específica que las demás muestras, curiosamente, la muestra WO-2.5 posee

una entalpía menor a las muestras WO-5 y WO-7.5, lo cual normalmente debería ser al contrario, esto puede deberse ya que esta muestra mostró una mayor concentración de solvente no evaporado en otros ensayos de esta investigación, lo que puede explicar este fenómeno. En conclusión las muestras WO poseen una buena Entalpía Específica, que les permite almacenar una mayor cantidad de energía que otros materiales sin variar, lo que se traduce en un mejor aislamiento térmico si se usa con este propósito, las muestras con las mejores propiedades son las WO-7.5 y WO-5, seguido de WO-2.5 y finalmente WO-10.

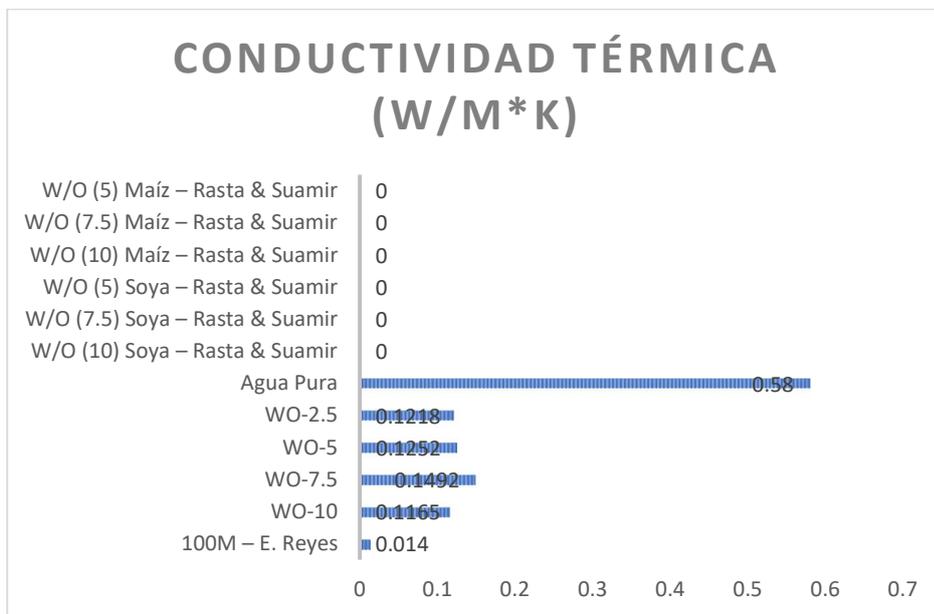


Figura 51: Conductividad Térmica de Diversos Materiales PCM

En la Figura 51, se puede observar que el agua pura posee una conductividad térmica muy superior a las demás muestras, mientras que el aceite de semilla es inferior, las muestras WO se ubican justo entre ambos valores, donde la muestra WO-7.5 posee una mayor conductividad térmica, seguido de las muestras WO-5 y WO-2.5 cuya diferencia de conductividad es de 0.0034 entre sí, y finalmente, la muestra WO-10. No se colocó la conductividad térmica de Rasta & Suamir ya que no fue agregado a su investigación. En conclusión, las muestras WO poseen una conductividad

térmica baja lo que les permite actuar como aislante térmico, entre ellas la muestra WO-10 tiene la mejor conductividad para este fin, seguidas de las muestras WO-2.5 y WO-5 y finalmente WO-7.5



Figura 52: Calor Específico en Diversos materiales PCM

En la Figura 52 se observa como las muestras WO-10 y WO-2.5 tienen calores específico menores incluso al aceite de semilla, esto puede darse por presencia de solvente no evaporado, mientras las muestras WO-7.5 y WO-5 tienen calores específicos muy buenos, que permiten que el material consuma una gran cantidad de energía para poder aumentar su temperatura, esto permite que su uso como material termoaislante sea muy eficiente.

En el ensayo de calorimetría, se pudo observar dos picos endotérmicos, donde el primer pico es de la fase olea, mientras que el segundo, que se encuentra cerca de los 100 C°, es de la fase acuosa, esto nos indica que la muestra, a pesar de ser una mezcla homogénea, no es estable, a pesar de esto, los resultados son muy favorables, los resultados con mejores propiedades térmicas son las muestras WO-7.5 y WO-5, con entalpías, conductividades térmicas y calores específicos mejores que las otras muestras, también, estos rangos específicos de temperatura donde se

presentan las curvas se asemejan a los resultados obtenidos por Rasta & Suamir (2017), donde exponen temperaturas de cambio de fase entre  $-1\text{ C}^{\circ}$  y  $5\text{ C}^{\circ}$  y con temperaturas de congelación de entre  $-3\text{ C}^{\circ}$  y  $-6\text{ C}^{\circ}$ , demostrando que el aceite de semilla de aguacate cumple su función como agente de nucleación para así evitar el subenfriamiento.

#### 4.4.2 Espectroscopía Infrarroja por derivada de Fourier (FTIR)

En la espectroscopía se puede observar en todas las muestras la presencia de las curvas del agua, una en los  $3000\text{ cm}^{-1}$  y otra en los  $1600\text{ cm}^{-1}$ , junto a una gran cantidad de ruido, que, según la bibliografía, es lógico su presencia gracias a las partículas acuosas en la muestra, que crean una interferencia con la lectura del resto de los grupos funcionales. Se puede observar la parte olea de la muestra ya que presenta grupos funcionales iguales a los mostrados por E. Reyes (2020), y a su vez, ciertos aromáticos, cuya presencia se observa en mayor magnitud en la muestra WO-2.5, que corresponden a combustible comercial de alto octanaje, demostrando que las fallas producidas en el equipo rotavapor, también puede ser debido al tipo de solvente utilizado, ya que al no ser 100% octano, sino una mezcla de solventes orgánicos con impurezas, produjeron consecuencias en la muestra como son su inestabilidad química, esta alta presencia en una única muestra puede deberse a varios factores, como son el tamaño de muestra, el punto de donde se tomó el aceite para mezclar con el agua, tenía una mayor concentración de solvente, esto se evidencia también gracias al análisis por Termogravimetría (TGA), donde indica que la temperatura máxima de la muestra WO-2.5 es la más baja de entre todas las muestras.

#### 4.4.3 Termogravimetría (TGA)

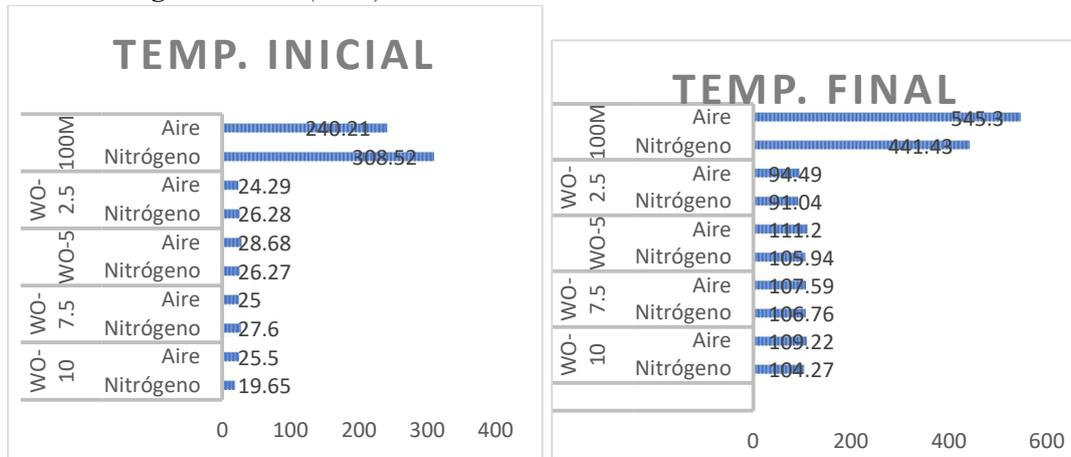


Figura 53: Temperatura Inicial y Final de varios PCM

Como puede observarse, el aceite de semilla 100% maduro E. Reyes (2020), tiene un rango de temperatura mucho más amplio que las muestras WO, esto se debe a su alta pureza y baja conductividad, que le permiten tener un deterioro más lento que los compuestos. En las muestras WO se puede observar un comportamiento muy parecido al mostrado en la Calorimetría, donde existe una variación en el aumento de la temperatura cercano a los 100 C°, correspondiente al cambio de fase de la fase acuosa de las muestras, también, se nos muestra una ligera estabilidad hasta los 30 C° -35 C°, confirmando su funcionamiento dentro del rango de trabajo especificado, de entre los -5 C° a los 20 C°.

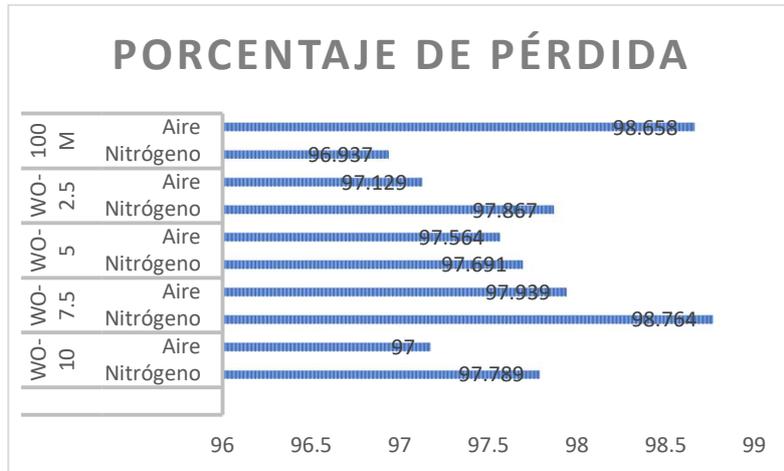


Figura 54: Porcentaje de Pérdida de Masa de varios PCM

En la Figura 54 se puede observar como la pérdida de masa es más severa en la atmósfera de nitrógeno en las muestras WO mientras que la pérdida de masa mayor es en la atmósfera de aire, lo cual presenta una incongruencia ya que la atmósfera inerte  $N_2$  fue ingresada específicamente para que la muestra no reaccione con ella, y que se tenga una lectura de degradación térmica pura, mientras que en una atmósfera de Aire, la degradación es térmica y química por oxidación, dicha incongruencia debe ser analizada más a fondo para entender la razón de por qué se presenta.

#### 4.4.4 Simulación Computacional en Inventor CFD

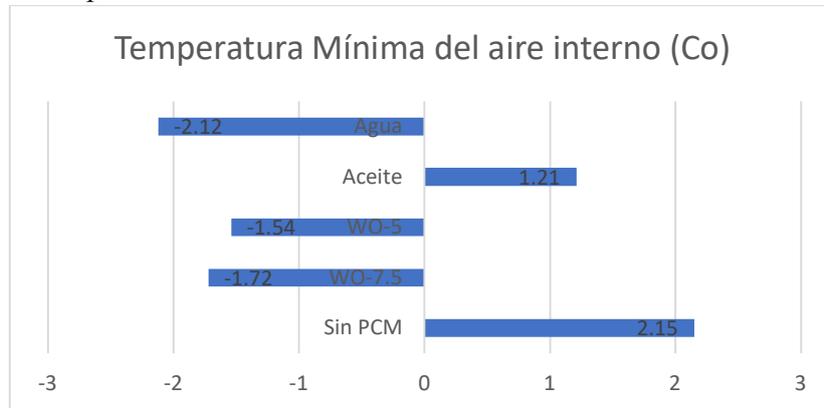


Figura 55: Temperatura mínima del aire interno de la Caja térmica con varios PCM

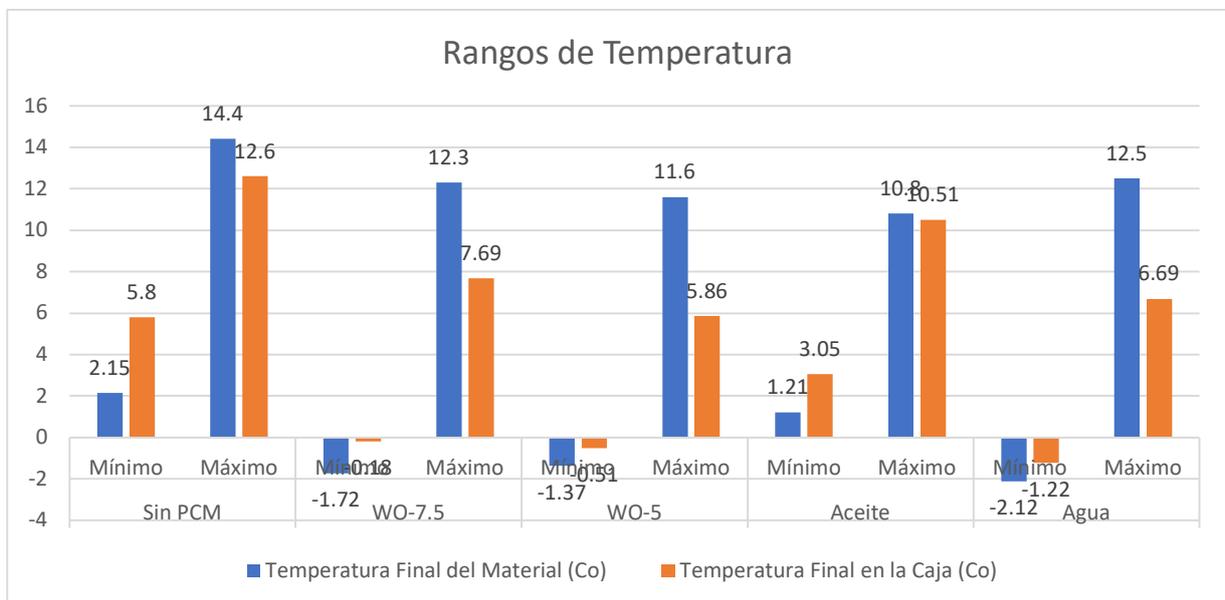


Figura 56: Temperatura mínima y máxima del aire interno con varios materiales PCM

Se puede observar en la Figura 55 y 56, que los materiales, Agua, WO-5 y WO-7.5 pueden ser muy útiles como material para refrigeración, ya que logran mantener la temperatura del aire interno en un rango promedio de entre  $-0.6\text{ C}^\circ$  a  $6.8\text{ C}^\circ$  después de la simulación de 7 horas, ahora bien, el agua y el material WO-7.5 muestran temperaturas finales muy similares, con gradientes de temperatura igualmente cercanos, finalmente, la muestra WO-5, a pesar de mostrar la temperatura más alta dentro del material, muestra las propiedades más interesantes, con temperaturas de aire interno menores a las demás muestras, este valor es lo que más

interés tiene en este ensayo ya que determina que las muestras WO-5 y agua producen los mejores resultados para una aplicación en cadena de frío.

## 5. Conclusiones

- El análisis DSC a mostrado como las muestras con mayor y menor concentración de aceite y con solvente no evaporado obtuvieron ciertas propiedades inferiores a las demás muestras WO, a su vez, las muestras de concentración de 7.5% y 5% tienen propiedades térmicas que les permiten funcionar como un buen material PCM de aislamiento térmico, útil en la industria del transporte de suministros en frío.
- La espectroscopía ha permitido observar la composición de las muestras WO a través de los grupos funcionales y las curvas espectrométricas, con ellas, se observa la importancia de una evaporación completa de solventes para así mejorar la estabilidad química, térmica y propiedades obtenidas en otros ensayos realizados en esta investigación, y al mismo tiempo, entender cómo el agua crea interferencia en la gráfica de FTIR, lo cual afecta la interpretación de los resultados.
- La termogravimetría mostró cómo la presencia de agua vuelve a las muestras más volátiles a temperaturas cercanas y mayores a los 100 C°, a su vez, enseña ligeras variaciones en la curva de temperatura alrededor de los 20 C° y 100 C°, lo que se puede traducir como una separación parcial de los compuestos.
- La simulación computacional a llevado a la conclusión que las muestras WO-7.5 y WO-5 pueden ser utilizadas como material PCM de aislamiento térmico, esto gracias a que las temperaturas finales dentro de la caja térmica en ambas muestras, son muy parecidas a las

temperaturas finales con agua como PCM, con la capacidad de nucleación, que evita el subenfriamiento.

## **6. Recomendaciones**

- Antes de realizar la extracción de aceite a una semilla como la del aguacate, se debe retirar la mayor cantidad del agua posible de la misma, para que así las propiedades químicas y térmicas no se vean comprometidas. A su vez, se debe tener cuidado con la temperatura de deshidratación, esto para evitar afectar la composición del aceite resultante
- Para la extracción de aceites orgánicos puros, se recomienda utilizar solventes orgánicos con la mayor pureza posible, esto evitará que el aceite resultante contenga químicos y partículas que afectan la veracidad de los resultados. Si por alguna razón la disponibilidad de dichos solventes orgánicos puros es escasa, se sugiere utilizar octano purificado, esto se puede realizar reconstituyendo combustible de alto octanaje, aunque sería necesario realizar pruebas comparativas para determinar la aplicabilidad de esto.
- Los contenedores donde se guardará tanto el aceite como el agua y las muestras deben ser limpiados con detalle, la presencia de algún componente polar o apolar, suciedad o material orgánico puede llevar a resultados poco confiables.
- El equipo ha utilizar debe estar en óptimo funcionamiento, de esta manera los resultados serán menos ambiguos, en caso de algún fallo o fenómeno de fuerza mayor que el investigador no pueda cambiar por este tema, se deben tener alternativas los más controladas posibles para mantener la credibilidad de la investigación.
- Para la mezcla de agua-aceite, si el aceite a utilizar ha sido extraído de semillas, se puede evitar el uso de emulsionante, si se necesita utilizar emulsionante, la cantidad de muestra a

producir deberá ser mayor, esto para asegurar que el emulsionante en toda la muestra sea homogéneo y de esta forma producir una mejor emulsión, si la muestra es más pequeña, el control de la cantidad de emulsionante se vuelve más complejo e incierto.

- Al usar Inventor CFD, se sugiere terminar la mayor cantidad de programas innecesarios del computador, tanto en 1<sup>er</sup> como 2<sup>do</sup> plano, ya que puede existir una variación de los resultados entre más programas se ejecutan al mismo tiempo.

## 7. Bibliografía

- Aneke, M., & Wang, M. (2016). Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review. *Applied Energy*, 179, 350–377. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.097>
- Bora, P. S., Narain, N., Rocha, R. V. M., & Queiroz Paulo, M. (2001). Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. *Grasas y Aceites*, 52(3–4), 171–174. <https://doi.org/10.3989/gya.2001.v52.i3-4.353>
- Briones-Kusactay, V., Intriago-Vargas, J., Villegas-Valle, M., & Vásquez-Hidalgo, C. (2018). Análisis de las exportaciones del aguacate de la zona 5 y 8 del Ecuador hacia los mercados sustentables. *Polo Del Conocimiento*, 23(24), 273–299. <https://doi.org/10.23857/pc.v3i1Esp.672>
- Castonera-García, J., Rojas-Lopez, M., Delgado-Macuil, R., & Robles de la Torre, R. (2011). Análisis de Pulpa y Aceite de Aguacate con Espectroscopia Infrarroja. *Conciencia Tecnológica*, 42, 5–10.
- Chen, C., Zhang, H., Gao, X., Xu, T., Fang, Y., & Zhang, Z. (2016). Numerical and experimental investigation on latent thermal energy storage system with spiral coil tube and paraffin / expanded graphite composite PCM. *Energy Conversion and Management*, 126, 889–897. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.068>
- Dominguez, M., Araus, K., Bonert, P., Sa, F., Miguel, G. S., & Toledo, M. (2016). The Avocado and Its Waste : An Approach of Fuel Potential / Application. In *Environment, Energy and Climate Change II* (Issue 699, pp. 199–223). <https://doi.org/10.1007/698>

Domínguez, M., García, C., Arias, J. M., & Csic, F. (2008). Los PCM en el transporte de productos perecederos. *Digital.Csic.Es*, 1(2008), 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 di ff erent temperature ranges. *Applied Energy*, 220(March), 242–273. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.005>

Elias, C. N., & Stathopoulos, V. N. (2019). A comprehensive review of recent advances in materials aspects of phase change materials in thermal energy storage. *Energy Procedia*, 161, 385–394. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.101>

Gidigbi, J. ., Ngoshe, A. ., & Martins, A. (2019). Industrial Viability Study of the Avocado Seed Oil. *International Journal of Recent Innovations in Academic Research*, 3(6), 48–57.

Ixtaina, V. Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Marti, M. L., Maestri, D. M., Diehl, B. W. K., Nolasco, S. M., & Toma, M. C. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.08.006>

Jaguemont, J., Omar, N., Van den Bossche, P., & Mierlo, J. (2018). Phase-change materials (PCM) for automotive applications: A review. *Applied Thermal Engineering*, 132, 308–320. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.12.097>

Li, S. F., Liu, Z. hua, & Wang, X. J. (2019). A comprehensive review on positive cold energy storage technologies and applications in air conditioning with phase change materials. *Applied Energy*, 255(August), 113667. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113667>

Nazir, H., Batool, M., Bolivar Osorio, F. J., Isaza-Ruiz, M., Xu, X., Vignarooban, K., Phelan, P., Inamuddin, & Kannan, A. M. (2019). Recent developments in phase change materials for energy storage applications: A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *129*, 491–523. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.126>

Oró, E., de Gracia, A., Castell, A., Farid, M. M., & Cabeza, L. F. (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications. *Applied Energy*, *99*, 513–533. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.058>

Oró, Eduard, Miró, L., Farid, M. M., & Cabeza, L. F. (2012). Thermal analysis of a low temperature storage unit using phase change materials without refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, *35*(6), 1709–1714. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.05.004>

Rachimoellah, H. M., Resti, D. A., Zibbeni, A., & Susila, I. W. (2009). Production of Biodiesel through Transesterification of Avocado ( *Persea gratissima* ) Seed Oil Using Base Catalyst. *JURNAL TEKNIK MESIN*, *11*(2), 85–90.

Rasta, I. M., & Suamir, I. N. (2018). The role of vegetable oil in water based phase change materials for medium temperature refrigeration. *Journal of Energy Storage*, *15*, 368–378. <https://doi.org/10.1016/j.est.2017.12.014>

Rozanna, D., Chuah, T. G., Salmiah, A., Choong, T. S. Y., & Sa'ari, M. (2005). Fatty Acids as Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage: A Review. *International Journal of Green Energy*, *1*(4), 495–513. <https://doi.org/10.1081/ge-200038722>

Sharma, A., Shukla, A., Chen, C. R., & Wu, T. N. (2014). Development of phase change materials (PCMs) for low temperature energy storage applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.02.009>

Solís-Fuentes, J. A., & Durán-De-Bazúa, M. C. (2004). Mango seed uses: Thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. *Bioresource Technology*, 92(1), 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.07.003>

Taylor, P., & Rohman, A. (2015). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy combined with multivariate calibrations for the authentication of avocado oil. *International Journal of Food Properties*, July. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1039029>

M, Areke & M, Wang. (2016). Energy storage technologies and real-life applications – A state of the art review. Research Gate. Extraído de:

[https://www.researchgate.net/publication/305474151\\_Energy\\_storage\\_technologies\\_and\\_real\\_life\\_applications\\_-\\_A\\_state\\_of\\_the\\_art\\_review?enrichId=rgreq-bc534ef088fea27c4a1af19c127f3fe0-](https://www.researchgate.net/publication/305474151_Energy_storage_technologies_and_real_life_applications_-_A_state_of_the_art_review?enrichId=rgreq-bc534ef088fea27c4a1af19c127f3fe0-)

XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwNTQ3NDE1MTtBUzo5MTUxMjEwNDM5MzExMzI2Nzc3Nw%3D%3D&el=1\_x\_2&\_esc=publicationCoverPdf. El 26 de agosto del 2021.

Wang, M., Yu, P., Chittiboyina, A. G., Chen, D., Zhao, J., Avula, B., Wang, Y., & Khan, I. A. (2020). Assessment of Avocado ( *Persea americana* Mill .) Oils. *Molecules*, 25(1453), 1–17.

Zarajabad, O. G., & Ahmadi, R. (2018). Numerical investigation of different PCM volume on cold thermal energy storage system. *Journal of Energy Storage*, 17(April), 515–524. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.04.013>

Zhang, N., Yuan, Y., Cao, X., Du, Y., Zhang, Z., & Gui, Y. (2018). Latent Heat Thermal Energy Storage Systems with Solid–Liquid Phase Change Materials: A Review. *Advanced Engineering Materials*, 20(6), 1–30. <https://doi.org/10.1002/adem.201700753>

M. Zambrano, (2020). *Espectroscopía Infrarroja por Derivada de Fourier-FTIR*. Youtube-Marcela Andrea Zambrano Bothia. Extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=29KeOW0JbEM&list=PLfBxcGuWnlFbMuMN1sKfmbmVmYFcljLAu&index=3&t=56s>. El 12 de Octubre del 2021.

Rojo Callejas, F. (2000). Tablas de Espectroscopía Infrarroja. Facultad de Química - Departamento de Programas Audiovisuales, 14. [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TablasIR\\_15437.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TablasIR_15437.pdf)[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IRTablas\\_33080.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IRTablas_33080.pdf)

Mondragón Cortez, P. (2015). *Espectroscopia de infrarrojo para todos*. CIATEJ. Extraído de: [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b7c09fdc1.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf). El 24 de Abril del 2022.

Mondragón Cortés, P. (2020). *Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas*. CIATEJ. Extraído de: <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/744>. El 27 de abril del 2022.

Min Hu, Demei Yu, Jianbo Wei. (2006). *Thermal conductivity determination of small polymer samples by differential scanning calorimetry*. *Polymer Testing*, Volume 26, Issue 3, Pages 333-337, ISSN 0142-9418, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.11.003>. Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941806002145>. Extraído el 24 de abril del 2022.

K. Du, J. Calautit, Z. Wang, Y. Wu, H Liu. (2018). *A review of Phase Change Materials in Cooling, Heating and Power Generation in different temperature Ranges*. *Applied Energy Journal*. Extraído de:

[https://www.researchgate.net/publication/324115722\\_A\\_review\\_of\\_the\\_applications\\_of\\_phase\\_change\\_materials\\_in\\_cooling\\_heating\\_and\\_power\\_generation\\_in\\_different\\_temperature\\_ranges](https://www.researchgate.net/publication/324115722_A_review_of_the_applications_of_phase_change_materials_in_cooling_heating_and_power_generation_in_different_temperature_ranges). El 20 de Enero del 2022

M. Akgün, O. Aydin, K. Kaygusuz, 2006. *Experimental study on melting/solidification characteristics of a paraffin as PCM*. Journal of Energy Conversion & Management. Extraído de:

[https://www.academia.edu/30844575/Experimental\\_study\\_on\\_melting\\_solidification\\_characteristics\\_of\\_a\\_paraffin\\_as\\_PCM](https://www.academia.edu/30844575/Experimental_study_on_melting_solidification_characteristics_of_a_paraffin_as_PCM). El 5 de Mayo del 2022.

S. Wu, H. Wang, S. Xiao, D. Zhu, 2011. *Numerical Simulation on Thermal Energy Storage Behavior of CU/paraffin nanofluids PCMs*. International Conference on Advances in Computational Modeling Simulation. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812010429>. El 5 de mayo del 2022

B. Nie, A. Palacios, B. Zou, J. Liu, T. Zhang, Y. Li, 2020. *Review on Phase Change Materials for Cold Thermal Storage Applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120306286?via%3Dihub>. El 5 de mayo del 2022.

Veerakumar. C, Sreekumar. A, 2016, *Phase Change Material Based Cold Thermal Energy Storage: Materials, Techniques and applications*. International Journal Of Refrigeration. Extraído de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140700715003837?via%3Dihub>. El 5 de mayo del 2022

T. Kemper, 2020. *Oil Extraction*. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Extraído de: [https://www.researchgate.net/publication/228049960\\_Oil\\_Extraction](https://www.researchgate.net/publication/228049960_Oil_Extraction). El 5 de mayo del 2022

D. Kasote, Y. Badhe, M. Hegde, 2013. *Effect of Mechanical Press Oil Extraction Processing on Quality of linseed Oil*. Journal of Industrial Crops and Products. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669012002804>. El 5 de mayo del 2022

IUPAC, 1992. In: Paquot, C., Hautffenne, A. (Eds.), *Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivates*. 7th ed. International Union of Pure and Applied Chemistry, Blackwell Scientific Publications Inc., Oxford, England.

V. Ixtaina, M. Martínez, V. Spotorno, C. Mateo, D. Maestri, B. Diehl, S. Nolasco, M. Tomás, (2011). *Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction*. Journal of Food Composition and Analysis-Volumen 24. Extraído de: [https://www.academia.edu/2384321/Characterization\\_of\\_chia\\_seed\\_oils\\_obtained\\_by\\_pressing\\_and\\_solvent\\_extraction](https://www.academia.edu/2384321/Characterization_of_chia_seed_oils_obtained_by_pressing_and_solvent_extraction). El 20 de abril de 2021.

S. Triguero, 2018. *Caracterización bromatológica de la semilla de aguacate (Persea Americana) y extracción e identificación de la fracción con mayor actividad antimicrobiana y antioxidante*. Repositorio-Universidad Central del Ecuador.

Giannuzzo, M. Nazareno, H. Mishima, B. López, 2000. *Extracción de Naringina de Citrus Paradisi L. Estudio Comparativo y Optimización de Técnicas Extractivas*. Sociedad Brasileña de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Extraído de:

<https://www.scielo.br/j/cta/a/hRKz9yWcZyDtTrhfLvTYvPC/abstract/?lang=es>. El 5 de mayo del 2022.

Romero, 2008. *Extracción de Compuestos Fenólicos de la Uva de Vino. Papel de los Enzimas de Maceración*. Repositorio – Universidad de Murcia. Extraído de: <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/2117/1/RomeroCascales.pdf>. El 5 de mayo del 2022.

E. Flores, 2017. *Extracción de Antioxidantes de las Bayas del Sauco (Sambucus nigra L. subsp, peruviana) con Ultrasonido, Microondas, Enzimas y Maceración*. Repositorio – Universidad Católica de Santa María. Extraído de: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642017000100012&script=sci\\_arttext&tIng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642017000100012&script=sci_arttext&tIng=en). El 5 de mayo del 2022.

M. Rabelo, F. Villanueva, C. Alonso. 2017. *Nucleación Heterogénea*. Academia.edu. Extraído de: [https://www.academia.edu/41736272/Nucleaci%C3%B3n\\_heterog%C3%A9nea](https://www.academia.edu/41736272/Nucleaci%C3%B3n_heterog%C3%A9nea). El 5 de mayo del 2022.

Tartaj, 1996. Proceso de nucleación heterogénea de la fase  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  sobre partículas cristalográficamente adecuadas ( $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Extraído de: <http://boletines.secv.es/upload/199635429.pdf>. El 5 de mayo del 2022.

G. Ángel, C. Ramón, R. Martín, H. Moisés. 2009. *Determinación de la función de Nucleación Isotérmicas en Polímeros*. Repositorio – Universidad Autónoma de Nuevo León. Extraído de: <http://eprints.uanl.mx/10407/>. El 5 de mayo del 2022.

V. Fernando, R. Martín. 2017. *Teoría de Nucleación Clásica Homogénea y sus Limitantes*. Academia.edu. Extraído de:

[https://www.academia.edu/41736273/Teor%C3%ADa\\_de\\_nucleaci%C3%B3n\\_cl%C3%A1sica\\_homog%C3%A9nea\\_y\\_sus\\_limitantes](https://www.academia.edu/41736273/Teor%C3%ADa_de_nucleaci%C3%B3n_cl%C3%A1sica_homog%C3%A9nea_y_sus_limitantes). El 5 de mayo del 2022.

R. Arild & D. Christian. 2005. *Fatty Acids: Structures and Properties*. Encyclopedia of Life Sciences. Extraído de: [https://www.researchgate.net/profile/Christian-Drevon/publication/227992501\\_Fatty\\_Acids\\_Structures\\_and\\_Properties/links/00463535f28dab7e8a000000/Fatty-Acids-Structures-and-Properties.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Christian-Drevon/publication/227992501_Fatty_Acids_Structures_and_Properties/links/00463535f28dab7e8a000000/Fatty-Acids-Structures-and-Properties.pdf). El 7 de mayo del 2022.

De Castro, M. L., & Priego-Capote, F. (2010). *Soxhlet extraction: Past and present panacea*. Journal of chromatography A. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967309016884>. El 7 de mayo del 2022.

De Castro, M. L., & Garcia-Ayuso, L. E. (1998). *Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future*. Analytica chimica acta. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267098002335>. El 7 de mayo del 2022.

R. Luis, L. Guillermo, C. Rosario, G. Fidel, M. Ana, R. Gloria, S. Ricardo. 2006. *Extracción y Caracterización de Aceite de Cardamomo*. Repositorio – Universidad de Medellín. Extraído de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v74n151/a05v74n151.pdf>. El 8 de mayo del 2022

UTN, (N/A). *Procesos de Extracción de Aceites*. Repositorio- Universidad Tecnológica Nacional de Argentina. Extraído de: [https://frh.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/51508/mod\\_folder/content/0/Procesos%20de%20fabricaci%C3%B3n%20de%20aceites%20vegetales.pdf?forcedownload=1#:~:text=El%20prensado%20en%20caliente%20es,de%20aceite%20superior%20a%2045%25](https://frh.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/51508/mod_folder/content/0/Procesos%20de%20fabricaci%C3%B3n%20de%20aceites%20vegetales.pdf?forcedownload=1#:~:text=El%20prensado%20en%20caliente%20es,de%20aceite%20superior%20a%2045%25). El 7 de mayo del 2022.

M. Safdar, T. Kausar, S. Jabbar, A. Mumtaz, K. Ahad, A. Saddozai. 2011. *Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (Citrus Reticulate L.) peel using ultrasound and maceration techniques*. Journal of Food and Drug Analysis. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1021949816301272>. El 7 de mayo del 2022.

M. Contini, S. Baccelloni, R. Massantini, G. Anelli. 2008. *Extraction of natural antioxidants from hazelnut (Corylus avellana L.) Shell and skin wastes by long maceration at room temperature*. Food Chemistry, Volumen 110, Issue 3, pg 659-669. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030881460800246X>. El 7 de mayo del 2022.

T. Stefan, F. Alexander, H. Dietmar, M. Thomas, R. Anja, P. Johann, S. Thomas, L. Andreas, A. Hussein, N. Peter (2002). *Accumulation of Crystal Deposits in Abdominal Organs Following Perfusion with Defrosted University of Wisconsin Solutions*. American Journal of Transplantation-Volume 2-Issue 7. Extraído de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1034/j.1600-6143.2002.20707.x>. El 22 de mayo del 2022.

S. Michel, G. LaMuraglia, M. Madariaga, A. Lisa (2015). *Innovative cold storage of donor organs using Paragonix Sherpa Pak™ Devices*. Herat Lung and Vessels Journal; 7(3): 246-255. Extraído de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4593023/#:~:text=It%20has%20been%20shown%20that,cold%20injury%20with%20protein%20denaturation>. El 24 de mayo del 2022.

B. Maria, D. Vito (2019). *Organ Preservation: Which Temperature for Which Organ*. Journal of International Medical Research. Extraído de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6567729/>. El 24 de mayo del 2022.

H. George, (1997). *Fish Processing Technology*. Segunda Edición. Blackie academic and Professional, an-Imprint of Chapman & Hall. Pgs 93-117.

ANAPE, (2022). *Propiedades del EPS*. Repositorio-ANAPE S.A. Extraído de: <http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>. E 129 de Mayo del 2022.

U. Faber. (2014). *Ficha Técnica Pila Gel Refrigerante*. colGel S.A.S-Vol. 3. Extraído de: <https://es.scribd.com/document/523933717/Ficha-Tecnica-pila-refrigeranteR>. El 29 de Mayo del 2022.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2014). *Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Transplantes*. Extraído de:

[https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGS\\_MT.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGS_MT.pdf). El 29 de Mayo del 2022

Lexis S.A. (2015). *Protocolo de Embalaje y Transporte de Órganos, Tejidos y Células*. Sistema Nacional Integrado de Donaciones y Trasplantes del Ecuador. Extraído de: [http://www.donaciontrasplante.gob.ec/indot/wp-content/uploads/2017/06/Protocolo\\_embalaje\\_y\\_transporte\\_organos\\_tejidos\\_celulas.pdf](http://www.donaciontrasplante.gob.ec/indot/wp-content/uploads/2017/06/Protocolo_embalaje_y_transporte_organos_tejidos_celulas.pdf). El 29 de Mayo del 2022

INEN. (2013). *Pescado Fresco, Refrigerado o Congelado: Requisitos*. NTE INEN 183:2013\_1R-1ra Revisión. Extraído de: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/183\\_1R.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/183_1R.pdf). El 29 de Mayo del 2022

Siva Rama Krishna, C., Subba Rao, K.V., Arji, S. (2019). *Simulation and Analysis of Residual Stresses in a Laminated Graphite/Epoxy Composite Plate Using HyperMesh*. In: Pujari, S., Srikanan, S., Subramonian, S. (eds) *Recent Advances in Material Sciences . Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering*. Springer, Singapore. Extraído de: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-7643-6\\_29](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-7643-6_29). El 13 de Junio del 2022.

D. Marin, A. Bordianu and A. -I. Constantin, "*Computational Fluid Dynamics and Experimental Analyzes of a Pico-Hydrokinetic Turbine*," 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICATE49685.2021.9465008. Extraído de: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9465008>. El 13 de Junio del 2022.

Schulze, T., Mouillet, JB., Lehmann, T., Fredriksson, L. (2021). *An Efficient and Automated Design Strategy for Multiphysics E-Motor Development*. In: CTI SYMPOSIUM 2019, pgs 459-472. Extraído de: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-61515-7\\_41#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-61515-7_41#citeas). El 13 de Junio del 2022.

Robert Ștefan Vizitiu, Andrei Burlacu, Dorina Nicolina Isopescu, Marina Verdeș, Gavril Sosoi, Constantin Doru Lăzărescu, *CFD analysis of an innovative heat recovery system*, *Procedia Manufacturing*, Volume 32, 2019, Pages 488-495. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919302793#section-cited-by>. El 13 de Junio del 2022.

Vizitiu, Robert & Burlacu, Andrei & Isopescu, Dorina & Verdes, Marina & Gavril, Sosoi & Lăzărescu, Constantin. (2019). *CFD analysis of an innovative heat recovery system*. *Procedia Manufacturing*, Vol. 32, pgs 488-495. Extraído de: [https://www.researchgate.net/publication/332597039\\_CFD\\_analysis\\_of\\_an\\_innovative\\_heat\\_recovery\\_system](https://www.researchgate.net/publication/332597039_CFD_analysis_of_an_innovative_heat_recovery_system). El 15 de Junio del 2022.

Jang-Oh Mo, Amanullah Choudhry, Maziar Arjomandi, Richard Kelso, Young-Ho Lee. (2013). *Effects of wind speed changes on wake instability of a wind turbine in a virtual wind tunnel using large eddy simulation*. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 117, pgs 38-56. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167610513000718>. El 13 de Junio del 2022.

Gunawati, A.H Dongoran, A. Setiawan. (2019). *Evaluation on Performance of Cold Storage Box Enveloped with Phase Change Materials*. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1242. Extraído de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1242/1/012023/meta>. El 13 de Junio del 2022.

Jose Luis Panza and Stanley Mak. (2003). "Aeroservoelastic Analysis of a NASA-ALTAIR Air Vehicle," AIAA 2003-6500. *2nd AIAA "Unmanned Unlimited" Conf. and Workshop & Exhibit*. Extraído de: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2003-6500>. El 13 de Junio del 2022.

Thomas, B.G. (2018). *Review on Modeling and Simulation of Continuous Casting*. *Steel Research International*, Vol. 89, issue 1. Extraído de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/srin.201700312>. El 13 de Junio del 2022.

Moissiadis, Anastassios & Paschaloudis, Dimitris. (2013). *Mesh Creation Using Hypermesh for Casting Simulation*. *Applied Mechanics and Materials* 419:376-380. Extraído de: [https://www.researchgate.net/publication/284500883\\_Mesh\\_Creation\\_Using\\_Hypermesh\\_for\\_Casting\\_Simulation](https://www.researchgate.net/publication/284500883_Mesh_Creation_Using_Hypermesh_for_Casting_Simulation). El 13 de Junio del 2022.

M. Vaclav. (2016). *Basic Reserach of Thermal Transfer Simulations*. *Processing in Manufacturing Systems*, Vol. 11, Issue 3, pgs 119-124. Extraído de: [http://icmas.eu/Journal\\_archive\\_files/Vol\\_11-Issue3\\_2016\\_PDF/119-124\\_Marek.pdf](http://icmas.eu/Journal_archive_files/Vol_11-Issue3_2016_PDF/119-124_Marek.pdf). El 13 de Junio del 2022.

R. A. José, (2018). *Comportamiento de la Temperatura y la Precipitación del Perfil Costero Ecuatoriano en el año 2018*. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol 3, N° 1, 2019. Extraído de: [https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas\\_oceanograficas/acta23/OCE23\\_1.pdf](https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta23/OCE23_1.pdf). El 7 de julio de 2022.

Z. C. Carlos, (2022). *Reporte Meteorológico Portuario para las Próximas 24 Horas*. Dirección de Meteorología Marina, División de Meteorología Marina. Extraído de: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/boletines/reportes-meteorologicos-portuario>. El 7 de julio de 2022

INAMHI, (2008). *Boletín Climatológico Mensual - agosto*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Extraído de: [https://www.inamhi.gob.ec/guayaquil/prediccion/mapa\\_riesgo/agosto/agosto.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/guayaquil/prediccion/mapa_riesgo/agosto/agosto.pdf). El 7 de julio de 2022

## 8. Referencias

Referencia 1: Secado de Semillas



Referencia 2: Comprobación de solvente de extracción a) hexano, b) combustible



Referencia 3: Extracción por rotavapor



Referencia 4: Cálculo de Calor Específico y Conductividad Térmica WO-10

Datos

Datos	Cantidad	Unidades
$\dot{h}$	328.8	J/g
$\beta$	2	C°/min
$m$	0.0154	G
$\Omega$	4.98xE <sup>-6</sup>	g/s
T1	-25	C°
T2	2.14	C°
$h_1$	0.06782	W/g
$h_2$	2.743	W/g
$k$	1.085	

Calor Específico

$$C_v = \frac{\dot{h} * \Omega}{\left(\beta * \frac{1min}{60s}\right) * m} = \frac{(328.8) \frac{J}{g} * (4.98 \cdot 10^{-6}) \frac{g}{s}}{(0.033) \frac{C^\circ}{s} * (0.0154)g} = 3.1898 \left[ \frac{J}{g * C^\circ} \right] \text{ o } 3189.787 \left[ \frac{J}{kg * C^\circ} \right]$$

Conductividad Térmica

$$Q = (h_2 - h_1) * m$$

$$\lambda' = \frac{Q * L}{A * \Delta T} = \frac{(41.19 * 10^{-3})W * (0.002)m}{(28.27 \cdot 10^{-6})m^2 * (27.14)C^\circ} = 0.107 \left[ \frac{W}{m * C^\circ} \right]$$

$$\lambda = \lambda' * k = 0.1165 \left[ \frac{W}{m * C^\circ} \right]$$

Referencia 5: Cálculo de Calor Específico y Conductividad Térmica WO-7.5 en Condiciones de Simulación

Datos	Cantidad	Unidades
$\dot{h}$	350.7	J/g
$\beta$	2	C°/min
$m$	0.0238	G
$\Omega$	8.51xE <sup>-6</sup>	g/s
T1	-25	C°
T2	2.14	C°
$h_1$	0.06905	W/g
$h_2$	2.285	W/g
$k$	1.085	

Calor Específico

$$C_v = \frac{\dot{h} * \Omega}{\left(\beta * \frac{1min}{60s}\right) * m} = \frac{(350.7) \frac{J}{g} * (8.51 \cdot 10^{-6}) \frac{g}{s}}{(0.033) \frac{C^\circ}{s} * (0.0238)g} = 3.7619 \left[ \frac{J}{g * C^\circ} \right] \text{ o } 3761.9206 \left[ \frac{J}{kg * C^\circ} \right]$$

Conductividad Térmica

$$Q = (h_2 - h_1) * m$$

$$\lambda' = \frac{Q * L}{A * \Delta T} = \frac{(53 * 10^{-3})W * (0.002)m}{(28.27 * 10^{-6})m^2 * (27.14)C^o} = 0.1375 \left[ \frac{W}{m * C^o} \right]$$

$$\lambda = \lambda' * k = 0.1492 \left[ \frac{W}{m * C^o} \right]$$

Referencia 6: Cálculo de Calor Específico y Conductividad Térmica WO-5

Datos

Datos	Cantidad	Unidades
$\dot{h}$	357.3	J/g
$\beta$	2	C°/min
$m$	0.0228	G
$\Omega$	$7.69 \times 10^{-6}$	g/s
T1	-25	C°
T2	2.14	C°
$h_1$	0.06492	W/g
$h_2$	2.006	W/g
$k$	1.085	

Calor Específico

$$c_v = \frac{\dot{h} * \Omega}{\left( \beta * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) * m} = \frac{(357.3) \frac{J}{g} * (7.69 * 10^{-6}) \frac{g}{s}}{(0.033) \frac{C^o}{s} * (0.0228)g} = 3.6153 \left[ \frac{J}{g * C^o} \right] \text{ o } 3615.3118 \left[ \frac{J}{kg * C^o} \right]$$

Conductividad Térmica

$$Q = (h_2 - h_1) * m$$

$$\lambda' = \frac{Q * L}{A * \Delta T} = \frac{(44.25662 * 10^{-3})W * (0.002)m}{(28.27 * 10^{-6})m^2 * (27.14)C^o} = 0.115 \left[ \frac{W}{m * C^o} \right]$$

$$\lambda = \lambda' * k = 0.1252 \left[ \frac{W}{m * C^o} \right]$$

Referencia 7: Cálculo de Calor Específico y Conductividad Térmica WO-2.5

Datos

Datos	Cantidad	Unidades
$\dot{h}$	344.8	J/g
$\beta$	2	C°/min
$m$	0.0144	g

$\Omega$	4.536xE <sup>-6</sup>	g/s
T1	-25	C°
T2	2.14	C°
h1	0.07041	W/g
h2	3.062	W/g
k		

Calor Específico

$$C_v = \frac{\dot{h} * \Omega}{\left(\beta * \frac{1min}{60s}\right) * m} = \frac{(344.8) \frac{J}{g} * (4.536 \cdot 10^{-6}) \frac{g}{s}}{(0.033) \frac{C^o}{s} * (0.0144)g} = 3.2584 \left[ \frac{J}{g * C^o} \right] \text{ o } 3258.36 \left[ \frac{J}{kg * C^o} \right]$$

Conductividad Térmica

$$Q = (h_2 - h_1) * m$$

$$\lambda' = \frac{Q * L}{A * \Delta T} = \frac{(43.0789 * 10^{-3})W * (0.002)m}{(28.27 \cdot 10^{-6})m^2 * (27.14)C^o} = 0.1123 \left[ \frac{W}{m * C^o} \right]$$

$$\lambda = \lambda' * k = 0.1218 \left[ \frac{W}{m * C^o} \right]$$

Referencia 8: Propiedades Térmicas del Agua Pura

Característica	Descripción
Material	Agua Pura
Densidad	1 g/cm3 o 1000 kg/m3
Conductividad térmica	0.58 W/m°K
Capacidad calórica	4184 J/kg°K

Referencia 9: Propiedades Térmicas del Aceite de Semilla de Aguacate 100% Maduro (E. Reyes, 2020)

Característica	Descripción
Material	aceite pepa aguacate (100M)
Densidad	0.68675 g/ml o 686.75 kg/m3
Conductividad térmica	0.016 W/m°K
Capacidad calórica	1916 J/kg°K @ -27 C°

Referencia 10: Propiedades de la Caja Térmica P10 y Pila de Refrigeración

### CAJA TÉRMICA P10

La caja térmica P10 de 10 litros es la mejor opción para el almacenamiento y transporte de alimentos congelados como mariscos, pescados, helados, medicinas u otros productos que necesiten conservar su temperatura ideal.



#### VENTAJAS

- Cumple con los más altos estándares de higiene e inocuidad, evita la intrusión de hongos y/o bacterias y es inoloro.
- Protege al producto contra cambios bruscos de temperatura, conservándolo desde -180°C a 50°C.
- Resistente a la humedad, ya que no absorbe agua ni vapor de agua, es totalmente impermeable.
- Puede ser decorado con cualquier logotipo o diseño deseado (según volumen requerido).
- Conserva por más tiempo la vitamina C de las frutas en comparación con otro tipo de materiales.
- Bajo peso con diseño robusto y resistente frente a golpes.
- 100% reciclable.
- Material muy liviano y a la vez rígido, no se deforma.
- Producto ecológico no daña la capa de ozono, es insoluble al agua y no contiene sustancias hidrosolubles que puedan contaminar las aguas subterráneas.



**colGel**  
Colombiana de Geles S.A.S.  
Tel: (31) 4809044 / 7478133  
Email: info@colgel.com  
Bogotá - Colombia

#### FICHA TECNICA PILA GEL REFRIGERANTE

Fabrica: 096 301 1  
Versión: 1

<b>PRODUCTO</b>	<b>PILA REFRIGERANTE NORDIC FREEZE BATTERY</b>
<b>USOS</b>	Conservación de productos perecederos, alimentos, productos biológicos y veterinarios a temperaturas de refrigeración y/o congelación.
<b>DESCRIPCION DE EMPAQUE</b>	Termoformado en polietileno de alta densidad, con las siguientes especificaciones: - Rolulado: Termoformado en color azul, con logo de Nordic Freeze Battery, impreso de forma legible, nombre del producto, indicaciones de uso, teléfonos y correo de la fábrica. Sellado hermético, evitando la pérdida o deterioro del producto durante su manipulación y transporte.
<b>DESCRIPCION FISICA</b>	Producto viscoso obtenido a partir de la mezcla de polímeros, congelantes, anticongelantes y agua potable. No tóxico y biodegradable.
<b>EMPAQUE Y PRESENTACIONES</b>	Pila refrigerante x 400 g. Medidas: 11x17x3 cm Pila refrigerante x 800 g. Medidas: 14,5x26,5x2,5 cm. Se maneja una tolerancia de +/- 10%.
<b>CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS Y ORGANOLEPTICAS</b>	Aspecto: Viscoso Densidad: 1 g/cm3 PH: 6,6-5 Vehículo: Agua potable Aroma: Inoloro Color: transparente
<b>CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS</b>	NMP de Coliformes/g <-3bact/g NMP de Coliformes fecales/g <-3bact/g Recuento de cerebros mesófilos/g <-1bact/g Recuento de mohos y levaduras <-10iufc/g etc/g
<b>MODO DE USO</b>	Disponga el producto en un congelador por un tiempo mínimo de 36 horas a una temperatura de -18° C, o más. Una vez congelada coloque las pilas en la base, en los lados y en la parte superior de la nevera o cava portátil distribuyéndolas de tal forma que cubran la mayor parte del producto.

#### PRESENTACIÓN

DESCRIPCION	UNIDAD	STANDARD	TOLERANCIA
ESPEJOR TAPA	mm	20	2
ESPEJOR PARED	mm	20	2
ESPEJOR FONDO	mm	25	2
LARGO EXTERIOR	mm	392	2
ALTO EXTERIOR	mm	161	2
ANCHO EXTERIOR	mm	312	2
LARGO INTERIOR	mm	350	2
ALTO INTERIOR	mm	113	2
ANCHO INTERIOR	mm	275	2
DENSIDAD DEL MATERIAL	gramos/litros	24	0%
PESO	gramos	250	10
VOLUMEN INTERNO	L	16,0	3%
RESISTENCIA	kg	5	0%
VARIACION TERMICA	°C/Ano	0,35	0%
MATERIAL	Polietileno Espandible (EPS)		
UNO x PAQUETE	6		



**PLASTEX**  
100% 100% 100%  
BUREAU VERITAS  
Certification

Fábrica Quito: San Juan de Tumbamba, calle 5 4720, Guamaní, Tel.: +593 2 306 8974, Casilla: 17 01 2485 / Email: info@plastex.com  
Quito - Ecuador © 2020 PLASTEX S.A.