

**CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE UN PRODUCTO COMERCIAL  
EN POLVO (SUPLEMENTO DIETARIO) Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD  
DE DISPERSIÓN EN AGUA**

**JULIANA GÓMEZ ARCINIEGAS**

**UNIVERSIDAD ICESI**

**FACULTAD CIENCIAS NATURALES**

**PROGRAMA DE QUÍMICA FARMACÉUTICA, DEPARTAMENTO DE CIENCIAS  
FARMACÉUTICAS**

**SANTIAGO DE CALI**

**2016**

**CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE UN PRODUCTO COMERCIAL  
EN POLVO (SUPLEMENTO DIETARIO) Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD  
DE DISPERSIÓN EN AGUA**

**JULIANA GÓMEZ ARCINIEGAS**

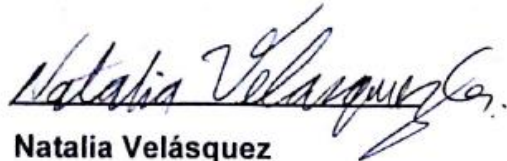
**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE PREGRADO EN  
QUÍMICA FARMACÉUTICA**

**TUTOR: CONSTAIN HUGO SALAMANCA MEJÍA, Ph. D**

**SANTIAGO DE CALI**

**2016**

**Aprobado por:**



**Natalia Velásquez**

**Evaluador**



**Constain Hugo Salamanca Mejia**

**Tutor**

**Santiago de Cali, 02 de diciembre del 2016**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a mis padres que son mi ejemplo a seguir, que a pesar de todas las dificultades que pude haber presentado a lo largo de mi carrera, siempre estuvieron ahí para apoyarme y para no dejarme rendir. Por ellos he llegado tan lejos y espero poder seguir contando con su apoyo por un largo tiempo. También quiero agradecerle a mi abuela, porque es el ángel que siempre me acompañó en todo momento de este trayecto tan largo, porque siempre me tuvo presente en sus oraciones para que todo me saliera bien.

También quiero agradecer a mi tutor del proyecto, Constain Salamanca, porque siempre estuvo pendiente del progreso de esta investigación. Gracias por haber compartido conmigo todos sus conocimientos y por darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Al laboratorio de instrumentación química (LIQ), por acogerme y explicarme todas las cosas que necesitaba en su momento. Por hacer de este proyecto, una experiencia que no voy a olvidar y por toda la paciencia que tuvieron conmigo.

A Anyela Gutiérrez por compartir conmigo todos los conocimientos sobre este producto y por la paciencia que tuvo al explicarme las cosas cuando lo necesitaba.

Finalmente, quiero agradecerle a mis compañeros por estar siempre presentes, por ayudarme en todo lo que necesité, por su comprensión, por su amistad y por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto lleno de experiencias que nunca olvidaré.

## Tabla de contenido

RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	13
2.1. Planteamiento de la pregunta o problema de investigación y su justificación en términos de necesidad y de pertinencia.....	13
2.2. Estado del arte.....	15
2.3. Marco teórico.....	17
2.3.1. Medicina Ortomolecular.....	17
2.3.2. Alimentos funcionales.....	17
2.3.3. Productos instantáneos.....	19
2.4. Objetivos.....	25
2.4.1. Objetivo general.....	25
2.4.2. Objetivos específicos.....	25
2.5. Materiales y métodos.....	26
2.5.1. Materiales.....	26
2.5.2. Métodos.....	26
2.6. Resultados y discusión.....	36
2.6.1. Caracterización térmica.....	36
2.6.2. Caracterización morfológica de las materias primas sólidas pulverulentas.....	37
2.6.3. Determinación de la distribución del tamaño de partícula.....	38
2.6.4. Determinación de las propiedades granulométricas de flujo, de compactación y de humedad del material particulado.....	40
2.6.5. Proceso de pre humectación y tiempo de humectabilidad.....	44
2.6.6. Determinación del ángulo de contacto ( $\theta_c$ ) y trabajo de adhesión (Wadh).....	46
2.7. Conclusiones.....	52
2.8. Recomendaciones.....	53
3. REFERENCIAS.....	54

## Listado de tablas

<b>Tabla 1.</b> Tamices usados para la prueba. ....	27
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de calificación para las variables de fluidez (The United States Pharmacopeial Convention, 2013).....	28
<b>Tabla 3.</b> Resultados de los termogramas para cada materia prima y el producto comercial. ....	36
<b>Tabla 4.</b> Ángulo de reposo y velocidad de deslizamiento de las materias primas y del producto comercial.....	41
<b>Tabla 5.</b> Índice de Carr (IC) e Índice de Hausner de las materias primas y del producto comercial.....	42
<b>Tabla 6.</b> Porcentajes de humedad para las materias primas.....	43

## Listado de figuras

<b>Figura 1.</b> Situación internacional actual de inversiones I+D (Cortés, Misael; Chiralt, Amparo; Puente, 2005).....	18
<b>Figura 2.</b> Tipos de hábito cristalino (Icesi, 2015).....	21
<b>Figura 3.</b> Fuerzas que actúan en una gota de líquido formando un ángulo de contacto $\theta$ (a) (Genaro, 2005); y relación entre el ángulo de contacto y el fenómeno de humectación (b) (TEGO, s.f.).....	23
<b>Figura 4.</b> Batería de tamices Ro-TAP-Rx-29 (wsTyler, Mentor, OH USA). ....	27
<b>Figura 5.</b> (a) montaje para el método del embudo fijo, (b) Termobalanza (Max 50/1/WH), y (c) Apisonador (Tap-2S).....	28
<b>Figura 6.</b> Montaje para la medición del tiempo de humectación. ....	29
<b>Figura 7.</b> (a) Tableteadora mono punzón y (b) Medidor de ángulo de contacto Dathaphysics Instruments OCA15EC. ....	30
<b>Figura 8.</b> (a) Cereal claro, (b) Cereal oscuro, (c) Maní, (d) Oleaginosas, (e) Endulzante (panela), (f) Extracto de malta, (g) Aroma y (h) Estabilizante. ....	38
<b>Figura 9.</b> Morfología del producto comercial. ....	38
<b>Figura 10.</b> Distribución del tamaño de las partículas de las materias primas.....	39
<b>Figura 11.</b> Distribución del tamaño de las partículas del producto comercial.....	40
<b>Figura 12.</b> Influencia de los agentes humectantes en el tiempo de humectabilidad, donde (a) lecitina; (b) glicerina; y (c) PEG 400. ....	45
<b>Figura 13.</b> Tratamiento con lecitina para (a) cereal claro; (b) cereal oscuro; (c) oleaginosas 1; y (d) oleaginosas 2.....	47
<b>Figura 14.</b> Tratamiento con glicerina para (a) cereal claro; (b) cereal oscuro; (c) oleaginosas 1; y (d) oleaginosas 2.....	48
<b>Figura 15.</b> Tratamiento con PEG 400 para (a) cereal claro; (b) cereal oscuro; (c) oleaginosas 1; y (d) oleaginosas 2.....	49
<b>Figura 16.</b> Influencia de los agentes humectantes en el trabajo de adhesión ( $W_{adh}$ ): (a) lecitina; (b) glicerina; y (c) PEG 400. ....	50
<b>Figura 17.</b> Producto comercial. ....	57
<b>Figura 18.</b> Termograma para el aroma. ....	59
<b>Figura 19.</b> Termograma para el cereal claro. ....	59
<b>Figura 20.</b> Termograma para el cereal oscuro. ....	60
<b>Figura 21.</b> Termograma para el estabilizante.....	60
<b>Figura 22.</b> Termograma para el extracto de malta. ....	61
<b>Figura 23.</b> Termograma para las oleaginosas 1.....	61
<b>Figura 24.</b> Termograma para las oleaginosas 2.....	62
<b>Figura 25.</b> Termograma para la panela.....	62
<b>Figura 26.</b> Termograma para el producto “Chocohop”.....	63

## **Listado de anexos**

<b>Anexo 1: Producto Chocohop .....</b>	<b>57</b>
<b>Anexo 2: Fórmulas para la determinación del ángulo de reposo, las densidades aparente y compactada, índice de Hausner e índice de Carr, voluminosidad y porosidad .....</b>	<b>58</b>
<b>Anexo 3: Termogramas de las materias primas y del producto comercial, obtenidas por DSC.....</b>	<b>59</b>



## RESUMEN

En este proyecto se optimizó la formulación correspondiente al suplemento dietario en polvo “Chocohop” que presentaba problemas de dispersabilidad en agua, a partir de estudios relacionados con el proceso de mezcla y la caracterización de las propiedades granulométricas. Inicialmente se realizó una caracterización granulométrica a cada materia prima por separado y al producto comercial, mediante las medidas del ángulo de reposo, índice de Hausner y Carr; y la obtención de la distribución del tamaño de partícula. Además, se realizó la caracterización térmica para cada material, incluyendo el producto comercial, mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Los principales resultados mostraron que las materias primas que presentan problemas de dispersión son: oleaginosas 1 (maní), oleaginosas 2, cereal claro y oscuro; las cuales se sometieron a dos pruebas de desempeño: medición del ángulo de contacto y del tiempo de sedimentación en presencia de tres agentes humectantes diferentes (glicerina, lecitina y polietilenglicol 400). Finalmente, se realizó el tratamiento estadístico ANOVA y se encontró que el agente humectante que disminuyó significativamente el ángulo de contacto de la mayoría de las materias primas problemáticas, fue el polietilenglicol 400 (PEG 400).

**Palabras clave:** productos en polvo, problemas de dispersabilidad, agentes humectantes, ángulo de contacto.

## ABSTRACT

In this project, the corresponding formulation was optimized to the dietary powdered supplement "Chocohop" which was presenting problems of dispersibility in water, from related studies of the mixing process and the characterization of particle - size properties. Initially a granulometric characterization was performed separately for each raw and commercial product subject using measures the angle of repose, Carr index and Hausner index; and obtaining the distribution of particle size. Furthermore, the thermal characterization was performed for each material, including commercial product, by the technique of differential scanning calorimetry (DSC). The main results showed that raw materials are problematic: oilseeds 1 (peanuts), oilseeds 2, light and dark cereal; which they underwent two performance tests: measurement of contact angle and the wettability time in the presence of three different wetting agents (glycerin, lecithin and polyethylene glycol 400). Finally, ANOVA statistical treatment was performed and found that the wetting agent significantly reduced the contact angle of most problematic raw materials, was polyethylene glycol 400 (PEG 400).

**Key words:** powder products, dispersibility problems, wetting agents, contact angle.

## 1. INTRODUCCIÓN

La alimentación de la mayoría de la población se caracteriza por el consumo de productos de alto contenido calórico. Sin embargo, se ha generado un cambio a esta tendencia por la preocupación de una vida más saludable. Este cambio ha empezado por varios factores, entre ellos los estudios epidemiológicos que demuestran que una dieta sana disminuye el riesgo de contraer enfermedades crónicas degenerativas. Para ello, la industria alimentaria se ha encargado de suplir esas nuevas necesidades principalmente por la aplicación de nuevas tecnologías o la creación de productos alimentarios (Mínguez & Pérez). Además, los consumidores también buscan productos que tengan un uso e implementación fácil en la alimentación y que sean agradables al paladar.

Los alimentos funcionales, son aquellos que generan un beneficio para la salud, pueden formar parte de la dieta de cualquier persona. Además, están especialmente indicados en aquellos grupos de población con necesidades nutricionales especiales (embarazadas y niños), estados carenciales, intolerancias a determinados alimentos, colectivos con riesgos de determinadas enfermedades (cardiovasculares, gastrointestinales, osteoporosis, diabetes, etc.) y personas mayores. Sin embargo, estos grupos poblacionales encuentran dos tipos de oferta en este marco: los suplementos alimentarios, que se identifican por ellos como medicamentos; o productos en estado fresco como las frutas, vegetales, granos y cereales que en su mayoría requieren de tiempo para sus preparaciones. Para hacer frente a ello, la industria de alimentos en la última década ha propiciado el desarrollo de productos de consumo masivo con estas características benéficas para la salud, tales como leche enriquecida, leche infantil de iniciación y de continuación, yogures enriquecidos, leche fermentada, zumos enriquecidos, cereales fortificados, pan enriquecido sal yodada, entre otros; los cuales no requieren de preparaciones previas, sino que su implementación facilita la alimentación de dichas poblaciones (Zarco, Mora, Pelcastre, Flores, & Bronfman, 2006).

Dentro de esta clase de nuevos productos, los polvos instantáneos cada vez son más habituales. Sin embargo, son sistemas muy complejos constituidos por partículas de diferentes tamaños y formas que pueden flotar o se pueden sedimentar en función de sus propiedades de humectación. Para el diseño y desarrollo de este tipo de productos es importante evaluar las características granulométricas, tales como el tamaño de partícula, la densidad aparente, la forma de las partículas, entre otras. Además, las propiedades termodinámicas de superficie de cada ingrediente de formulación las cuales determinan el equilibrio apropiado entre la humectabilidad, la dispersabilidad y la solubilidad del producto (Dupas, Forny, & Ramaioli, 2015).

El objetivo de este trabajo fue optimizar una propuesta de formulación de un producto en polvo (Chocohop), funcional y comercial, con base en la selección cualitativa y cuantitativa de excipientes para su elaboración, mediante la evaluación del comportamiento del polvo en un medio de dispersión en presencia de tres agentes humectantes a tres proporciones diferentes.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1. Planteamiento de la pregunta o problema de investigación y su justificación en términos de necesidad y de pertinencia.**

En la actualidad, la ciencia de la nutrición se encuentra ante un nuevo y revolucionario reto, que es el estudio de nuevos alimentos y/o componentes alimentarios, que permitan, independientemente de su clásico valor nutricional, asegurar aún más el estado de salud y reducir el riesgo de padecer ciertas enfermedades, especialmente las llamadas degenerativas, tales como: enfermedades cardiovasculares, diabetes, osteoporosis, hipertensión, cataratas, obesidad, infecciones gastrointestinales y diferentes tipos de cánceres, algunas de las cuales constituyen las principales causas de muerte en los países desarrollados (Ansón, 2005).

De acuerdo con lo anterior, nace la Medicina Ortomolecular, la cual es una terapia alternativa que se basa en la utilización de micronutrientes en altas dosis como prevención y tratamiento de algunas patologías. Su objetivo es el restablecimiento del equilibrio químico del organismo. Este objetivo se consigue a través del uso de sustancias y elementos naturales como vitaminas, minerales, prebióticos, coenzimas, entre otros; los cuales van a permitir un reequilibrio bioquímico, neutralizando efectos tóxicos y mejorando la calidad de vida del consumidor (Chover, 2011).

Por lo tanto, el desarrollo de nuevos productos funcionales tiene una buena acogida por parte de los consumidores, ya que lo que buscan tener es una vida saludable a partir de la ingesta de productos que sean fáciles de preparar. Por esto, se desarrolló el producto “Chocohop” (Anexo 1), que es un sucedáneo del chocolate convencional de dispersión instantánea, el cual tiene como objetivo suplir las necesidades básicas de las personas de manera efectiva. “Chocohop” está compuesto a base de cereales y oleaginosas que proporcionan la nutrición adecuada para realizar las actividades diarias.

Sin embargo, al momento de promover la interacción entre el producto y el medio de dispersión, hay algunos componentes que no se dispersan generando aglomerados en el vaso. Esto puede ser un problema de aceptación por parte del consumidor y además, genera problemas en la absorción de los nutrientes involucrados ya que no se van a encontrar en su forma molecular para ser absorbidos en el intestino.

En consecuencia, las pruebas que se realizaron en este proyecto de investigación amplían la visión que se tiene sobre los productos

alimentarios, ya que se garantiza con bases concretas que el producto va a tener un buen desempeño al momento de su consumo. Además, se abren las puertas a la investigación sobre alimentos y sus posibles oportunidades en el mercado colombiano.

## 2.2. Estado del arte

A lo largo de la historia, el crecimiento de la población y el incremento en la esperanza de vida han estado sujetos a diversos factores como: la cantidad y la disponibilidad de alimentos, los cuales representan un factor de vital importancia. Es por esto que la necesidad de comprender la historia de la humanidad a través de la alimentación, dio pauta para el nacimiento de la nutrición, una ciencia que estudia cómo la alimentación influye en el proceso salud-enfermedad y cómo los alimentos han modulado la evolución genética (García M. , 2013).

En las décadas iniciales del siglo XX, la población mundial se vio afectada por la aparición de ciertas enfermedades desconocidas. Muchos investigadores decían que estaban asociadas a problemas infecciosos, mientras que otros científicos decían que estaban relacionadas a problemas en la dieta de las personas. Las principales enfermedades eran: escorbuto, pelagra, beriberi, entre otros. Por lo tanto, mediante varios estudios se estableció que las poblaciones que tenían una dieta pobre en nutrientes (como vitaminas, minerales, etc.), eran los principales afectados por estas patologías (Stratton & Elia, 2007).

Como decía Hipócrates en el siglo III antes de Cristo: “Que tu alimentación sea tu mejor medicina, y que tu medicina sea tu alimentación”. Sin embargo, apenas en las últimas décadas empezó a surgir una preocupación grande por una correcta nutrición para prevenir y/o curar una gran variedad de enfermedades. Por ejemplo, desde el año 1993 en Venezuela, se viene realizando a escala nacional el programa de enriquecimiento de alimentos. Con la colaboración directa del Instituto Nacional de Nutrición, se suplementan las harinas de maíz y de trigo con hierro y vitaminas. Un año después de iniciado el programa se realizó un estudio en la ciudad de Caracas, entre la población escolar (ambos sexos) de 7, 11 y 15 años y la condición socioeconómica baja. Los resultados obtenidos se compararon con un estudio similar en 1992. En el segundo estudio, la prevalencia de la deficiencia de hierro había descendido del 37% al 16%, y la anemia del 19% al 10% (Bengoia Lecanda, 2003).

En los últimos años, en lo que respecta al consumo de alimentos en general, cada vez más consumidores han pasado de la mera satisfacción de las necesidades de energía a una actitud dictada por la necesidad de promover el bienestar y reducir el riesgo de las enfermedades (Caracciolo, Lombardi, Verneau, & Lombardi, 2016).

Por otra parte, una de las mayores preocupaciones es el consumo de bebidas con edulcorantes y sus potenciales efectos sobre la salud. El

desarrollo de las “Recomendaciones sobre el consumo de bebidas para la población mexicana” es consecuencia del gran aumento de los patrones de peso no saludable y de diabetes mellitus tipo 2 en los últimos 20 años, junto con el incremento del consumo de energía proveniente de las bebidas durante el mismo periodo (Rivera, y otros, 2008). Por lo tanto, se ha empezado a desarrollar productos que se consuman como bebidas y que no afecten la cantidad de calorías ingeridas.

Para ello, en los últimos 10 años se ha empezado a desarrollar productos en polvo, principalmente por la alta estabilidad química y microbiológica. Además, para los consumidores, una reconstitución rápida y completa de estos productos es uno de los indicadores de calidad más alto. Estudios sobre la caracterización de superficie y de la morfología de los productos en polvo, han demostrado que para entender mejor las relaciones entre las propiedades de superficie y las propiedades funcionales del producto, es absolutamente necesario caracterizar la superficie en detalle (Pazos, y otros, 2012).

Otros estudios se han preocupado por formular productos instantáneos en polvo que permita una mejor nutrición que las bebidas comerciales. Un ejemplo es la elaboración de bebidas instantáneas a base de harina extruida de ñame, la cual tuvo mayor grado de aceptabilidad por los consumidores y lo definieron con un alimento de mejor valor nutricional; para lo cual se evaluaron sus características físicas y químicas (Pacheco, Techeira, & García, 2008). Otro ejemplo es el estudio sobre la evaluación de una bebida láctea instantánea, la cual, después de realizar pruebas fisicoquímicas, físicas, sensoriales, entre otras; se concluyó que su composición química era alta en proteínas, grasa, almidón y fibra dietaria; dándole “puntos extra” a esta formulación. Además, cumplía con las características fisicoquímicas y funcionales especificadas en las norma COVENIN de mezclas en polvo para bebidas instantáneas (García & Pacheco, 2010).



## **2.3. Marco teórico**

### **2.3.1. Medicina Ortomolecular**

Linus Pauling, bioquímico y activista estadounidense, sacó la conclusión de que existía un método eficaz, el cual al variar las concentraciones de las sustancias que se encuentran normalmente en el organismo, debía controlar las enfermedades mentales. Este tipo de terapia la llamó Medicina Ortomolecular (Hoffer, 2009).

Por ejemplo, el tratamiento para niños fenilcetonúricos mediante una dieta pobre en el aminoácido fenilalanina. Esta enfermedad es consecuencia de un defecto genético en el que disminuye la efectividad de la enzima que se encarga de catalizar la oxidación de la fenilalanina a tirosina. Los pacientes que continúan con la dieta normal, tienen cantidades extremadamente altas de fenilalanina en los músculos y bajas concentraciones de tirosina; lo que conlleva a todos los efectos relacionados con la enfermedad (retraso psicomotor, cuadros psicóticos, convulsiones, etc.). Entonces, dietas bajas en este aminoácido va a alcanzar las concentraciones óptimas de este en el organismo, disminuyendo considerablemente este tipo de síntomas (Pauling, 1968).

A raíz de todos los acontecimientos descritos, se afianzó la utilización de sustancias y elementos naturales como vitaminas, minerales, ácidos grasos, proteínas, entre otros; los cuales permiten que se genere un reequilibrio químico, neutralizando efectos tóxicos y mejorando la calidad de vida (Chover, 2011). Entonces, la suplementación nutricional es un acompañamiento importante de la medicina tradicional, de modo que se garantiza la mejoría y la seguridad del paciente. Se debe hacer énfasis en que los nutrientes que van a ser administrados a los pacientes, será de manera individualizada y específica para cada uno de ellos.

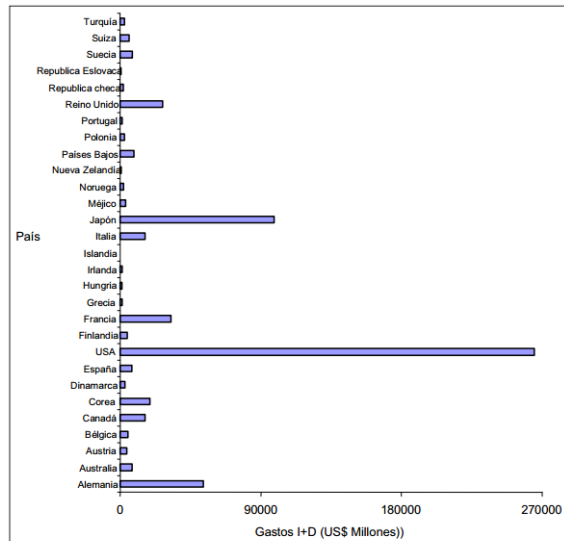
### **2.3.2. Alimentos funcionales**

Los alimentos funcionales se definen en términos generales como alimentos que proporcionan más de la nutrición sencilla; que suministran un beneficio fisiológico adicional para el consumidor (Jones, 2002), es decir, es cualquier alimento que además de sus componentes nutricionales tiene componentes que generan algún beneficio para la salud de las personas. Este tipo de alimentos sirven para proporcionar los requerimientos nutricionales adecuados a los consumidores.

El término “alimento funcional” fue propuesto en Japón en la década de los 80’s con la publicación de la reglamentación para los “Alimentos para

uso específico de la salud (FOSHU)” (Alvídrez, 2002). Sin embargo, al finalizar la década de los 90’s el uso de los suplementos dietarios en los países industrializados fue muy frecuente y se ha potenciado más en los países occidentales por las nuevas motivaciones asociadas al envejecimiento de la población y los estilos de vida que cambian continuamente. En Estados Unidos, el mercado de los suplementos dietarios ha crecido dramáticamente, casi un 80% desde 1994 hasta el año 2000 (Caracciolo et al., 2016).

Adicionalmente, el éxito actual de la industria alimentaria depende de la capacidad de adaptación e innovación de productos de calidad que satisfagan las expectativas y que además respondan a las necesidades sociales de los consumidores. La importancia de la innovación, y especialmente su transferencia y evolución, debe extenderse a la comunicación, búsqueda de información, ayudas de los gobiernos, las sociedades y las alianzas. Además, para conseguir una política de innovación, la empresa puede optar por el desarrollo interno de tecnología o bien por la transferencia de la misma. Según el informe de tecnología e innovación en España, COTEC 2003, el gasto de Investigación y Desarrollo (I+D) se interpreta como la verdadera inversión que prepara la futura capacidad competitiva de los países y de las empresas (Figura 1). Los países que van a la cabeza en inversiones en I+D, igualmente corresponden a los de avances más significativos en el desarrollo de alimentos funcionales: USA, Japón, Alemania, Francia y el Reino Unido (Cortés, Misael; Chiralt, Amparo; Puente, 2005).



Fuente: [www.cotec.es/publica/publicaciones.html](http://www.cotec.es/publica/publicaciones.html).  
 Fecha de consulta: Agosto 2003.

**Figura 1.** Situación internacional actual de inversiones I+D (Cortés, Misael; Chiralt, Amparo; Puente, 2005).

El auge de la industria alimentaria se ha generado por varias razones. Primero, las personas que consumen este tipo de productos son conscientes del beneficio para su salud que puede tener una buena alimentación en la prevención de las enfermedades. Adicionalmente, una encuesta realizada en Estados Unidos obtuvo que un 95% de la población cree que los alimentos tienen un potencial para mejorar la salud, además de proporcionar los requerimientos nutricionales. Segundo, los organismos reguladores se han vuelto más conscientes acerca de los beneficios de estos alimentos funcionales; entonces, los marcos legislativos están bien desarrollados en países como Japón que permite que más de 200 alimentos funcionales sean comercializados bajo la legislación existente FOSHU. Y en tercer lugar, estos entes regulatorios al estar más conscientes de los beneficios de estos alimentos, entonces también están más informados acerca del potencial económico de estos productos como parte de las estrategias de prevención en el área de salud pública (Jones, 2002).

En Colombia, el crecimiento del mercado de los alimentos funcionales es lento a comparación con Estados Unidos, Japón y Europa (5.7%, 6% y 16% anual, respectivamente). Sin embargo, hay una tendencia a apuntar hacia estos productos que están dirigidos a mejorar la salud o a reducir las carencias de alimentación que se tiene en el país. Ahora el consumidor colombiano está aumentando la preferencia por los alimentos sofisticados; la urbanización y el contacto con el exterior crea un consumidor más consciente de lo que compra. Los productos bajos en grasa y alto contenido vitamínico son artículos de preferencia, lo que está generando un cambio en el negocio de los alimentos. Las empresas reconocen que el consumidor colombiano está prefiriendo los alimentos con aspectos funcionales, lo que demuestra que está dispuesto a consumir y ha crecido el interés por obtener productos relacionados con una alimentación “saludable” (Posada, 2012).

### **2.3.3. Productos instantáneos**

Las bebidas instantáneas surgieron como una alternativa a las necesidades de una población, que requiere del uso y consumo de alimentos de rápida preparación. Se han considerado vehículos apropiados para hacerles llegar una variedad de nutrientes que aporten beneficios a la salud en la medida que se incluyan con frecuencia en la dieta diaria. Los investigadores mantienen una continua búsqueda de nuevas fuentes alternativas de materias primas para elaborar este tipo de producto, estableciendo el desarrollo de mezclas óptimas de ingredientes, que conlleven a características organolépticas, físicas, químicas y

funcionales deseables, y se adapten a los gustos de los consumidores (García & Pacheco, 2010).

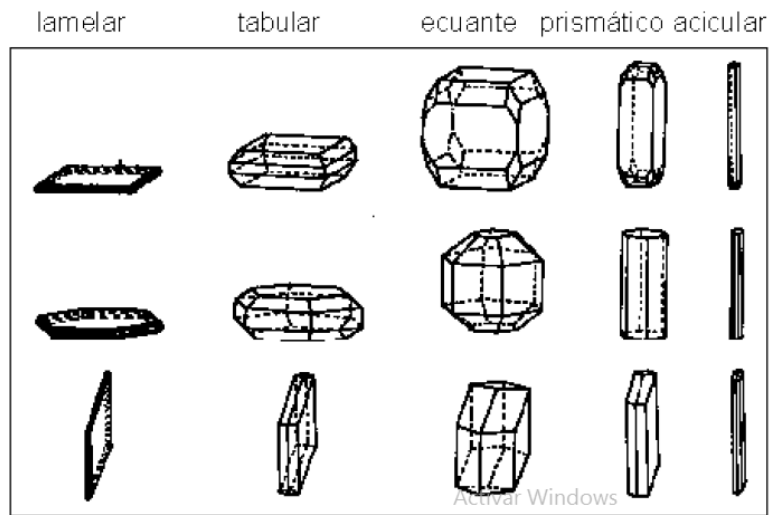
Un producto de preparación instantánea, quiere decir que al momento de mezclarse en un medio determinado, va a tender a dispersarse de manera homogénea o heterogénea inmediatamente sin la necesidad de aplicar un trabajo significativo al sistema. Por lo tanto, el éxito de estos productos va a depender de ciertas propiedades de cada uno de los componentes de la mezcla, como las propiedades granulométricas y de superficie.

### **2.3.3.1. Propiedades granulométricas**

Para garantizar que el producto se va a dispersar homogénea o heterogéneamente de manera óptima, se debe realizar un análisis granulométrico correspondiente para caracterizar propiedades como la distribución del tamaño de partícula, la fluidez del polvo, la morfología y la compactabilidad.

En primera instancia, la distribución del tamaño de partícula es un factor de suma importancia para los productos en polvo, ya que da una idea general sobre el comportamiento del mismo en un medio de dispersión o de disolución. Cuando los tamaños de las partículas suelen ser muy pequeños, se puede pensar que al tener mayor área superficial van a tener mayor contacto con el medio y así su dispersión sería exitosa. Sin embargo, al ser partículas tan pequeñas, van a tender a ser muy cohesivas entre ellas, por lo que van a generar aglomeraciones que serán muy difíciles de desintegrar por el medio líquido.

Otro factor importante para el estudio de los productos en polvo, es la morfología que puede ser interna o externa. La morfología interna, hace referencia a la disposición de los átomos en una partícula y es posible determinarla mediante la técnica de difracción de rayos x. Por otro lado, la morfología externa o hábito cristalino (Figura 2) está asociada a la dispersabilidad de las partículas en un medio y se puede determinar por un microscopio óptico. Esta última es la que se va a trabajar en este estudio. La morfología externa puede dividirse en dos: cristalinas o amorfas. Las primeras representan arreglos moleculares altamente ordenados; mientras que la segunda, no tienen un orden en su estructura (Florence, 2006).



**Figura 2.** Tipos de hábito cristalino (Icesi, 2015).

Lo anterior, influye mucho en la dispersión homogénea o heterogénea del producto, ya que cuando una partícula es irregular va a tener mayor superficie de contacto con el medio de dispersión, facilitando las interacciones entre ellos y así aumentando la velocidad de dispersión.

Para garantizar que un producto tiene una óptima velocidad de dispersión, es necesario evaluar las propiedades de flujo del mismo. Se debe tener en cuenta que la mayoría de polvos van a presentar ciertas fuerzas cohesivas que se van a oponer a moverse. Estas fuerzas van a generar que las partículas tengan una geometría de empaquetamiento. Entonces, cuando un sólido pulverulento se vierte en un recipiente y se aplica una fuerza mecánica, como la vibración, las partículas se reorganizarán generando un empaquetamiento más cerrado que el inicial y esto ocasionará un aumento en las fuerzas de cohesión del polvo como resultado del aumento de la superficie de contacto entre las partículas (Vila, 2001).

A partir de lo descrito anteriormente, se puede obtener parámetros relacionados como la densidad aparente y compactada, la porosidad y la voluminosidad; que van a permitir evaluar la fluidez del sólido pulverulento. Estos factores resultan importantes para la caracterización de este tipo de productos, porque brindan información importante acerca de la cohesividad del sistema. Entonces, cuando un sistema es muy cohesivo, no va a ser favorable que se disgregue para interactuar con el medio de disolución. Por lo tanto, estas medidas proporcionan información importante para el análisis de la velocidad de disolución de productos en polvo.

### **2.3.3.2. Propiedades de superficie**

La interface es la zona donde hay dos fases en contacto (líquido-líquido; sólido-líquido; sólido-sólido). En esa región se genera una tensión, la cual busca minimizar el área interfacial, cuando las dos fases en contacto tienen pocas interacciones atractivas entre ellas (Valencia, 2015).

El ángulo de contacto es una función de la tensión superficial del líquido y de la energía libre superficial del sustrato. Puede evaluarse mediante una gota de un líquido puro dispuesta sobre un sólido. El ángulo formado entre la interfaz sólido/líquido y la interfaz líquido/vapor, cuyo vértice está donde las tres interfaces se encuentran, constituye el ángulo de contacto (Figura 3a) (Díaz, 2011). Esta medida sirve para tener una amplia idea acerca de las interacciones entre un líquido y un sólido, haciendo referencia al caso de este estudio.

Por otro lado, la humectabilidad se puede definir como la facilidad que tiene el polvo de empaparse por un líquido por efecto de las fuerzas capilares que controlan la velocidad de esta (Freudig, Hoge Kamp, & Schubert, 1999).

Adicionalmente, para medir el tiempo de humectabilidad se debe tener en cuenta el hundimiento de las partículas por debajo de la superficie del líquido. La facilidad de hundirse depende principalmente de la masa, el tamaño y la densidad de las partículas y no propiamente de la facilidad de remojo (Ceballos, 2008). Las partículas grandes y densas generalmente son más rápidas para sumergirse que las livianas, pero la presencia de aire dentro de ellas pueden afectar su capacidad de hundimiento (Barbosa, Ortega, Juliano, & Yan, 2005). Entonces, al agregar un agente humectante (que desplaza el aire de las partículas), va a disminuir la tensión superficial y mejorar el tiempo de hundimiento del polvo, o el tiempo de humectabilidad (Ceballos, 2008).

#### **2.3.3.2.1. Fenómeno de humectación**

Para sistemas heterogéneos se pueden presentar dos situaciones: cuando se pone en contacto un líquido con una superficie (sólida o líquida), éste se puede quedar retraído o extenderse y cubrir la superficie. Entonces, la afinidad entre dos fases aumenta cuando las fuerzas de atracción entre diferentes fases (fuerzas de adhesión) son mayores que las fuerzas de atracción entre moléculas de la misma fase (fuerzas de cohesión). Para expresar de forma cuantitativa estas fuerzas se usan los términos: trabajo de adhesión y de cohesión. Si el trabajo de adhesión para dos sustancias, A y B, es mayor que el trabajo de cohesión de una

de ellas (por ejemplo, B); entonces, la sustancia B se extenderá completamente sobre la superficie A. Por el contrario, si el trabajo de cohesión de B es mayor que el trabajo de adhesión, la extensión de B sobre la superficie será nula (Genaro, 2005).

Un parámetro importante que refleja el grado de humectabilidad, teniendo en cuenta lo anterior, es el ángulo de contacto entre el líquido y la superficie sólida (Figura 3a). Si la humectación se da por completo, el ángulo de contacto es cero; por el contrario, si no hay humectación el ángulo de contacto tiende a ser mayor de  $90^\circ$  (Figura 3b).



**Figura 3.** Fuerzas que actúan en una gota de líquido formando un ángulo de contacto  $\theta$  (a) (Genaro, 2005); y relación entre el ángulo de contacto y el fenómeno de humectación (b) (TEGO, s.f.).

Para garantizar la buena humectabilidad del polvo, también se debe tener en cuenta parámetros como la porosidad, especialmente en productos de tipo alimenticio. Esto es importante, ya que la mayoría de partículas alimenticias son muy porosas y este factor puede afectar directamente el ángulo de contacto, dependiendo de la fracción de poros que han sido llenados (Dupas, Forny, & Ramaioli, 2015). Entre más poroso sea el polvo a evaluar, el agua puede penetrar más fácilmente, por lo que el ángulo de contacto se vería disminuido.

La composición de la superficie de los polvos juega también un papel importante durante el proceso de humectación, ya que la presencia de algún componente hidrofóbico deteriora la humectabilidad del producto. Si las partículas se disuelven en el líquido y estas tienen poros grandes, aumenta la velocidad de humectación en la mayoría de los casos (Ceballos, 2008).

### 2.3.3.3. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido, o DSC, es una técnica experimental dinámica que permite determinar la cantidad de calor que absorbe o libera una sustancia, cuando es mantenida a

temperatura constante, durante un tiempo determinado (Suriñach, Baro, Bordas, Clavaguera, & Clavaguera, 1992).

Esta técnica es importante, ya que proporciona termogramas específicos que pueden considerarse como una huella térmica para los materiales que se manejaron en este proyecto. Entonces, cuando se desea cambiar de proveedor, se tiene una referencia de los materiales y se puede definir si corresponden a los mismos. Por otro lado, es una técnica que permite evaluar si las materias primas presentan incompatibilidad dentro de la formulación mediante la comparación de los termogramas de los componentes individuales y el termograma de la mezcla; si las señales se ven alteradas en intensidad o desplazadas se puede decir que existen incompatibilidades entre ellos.



## **2.4. Objetivos**

### **2.4.1. Objetivo general**

- Optimizar la formulación correspondiente al suplemento dietario en polvo “Chocohop” con problemas de dispersabilidad en agua, a partir de estudios relacionados con el proceso de mezcla y la caracterización de las propiedades granulométricas, en la Universidad Icesi durante el año 2016.

### **2.4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la mezcla y cada uno de sus componentes separados, mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC).
- Caracterizar granulométricamente la morfología, fluidez, compactibilidad, humedad y tamaño de partícula de la mezcla y de cada uno de los componentes.
- Evaluar el fenómeno de dispersabilidad de las materias primas problema, mediante las pruebas de desempeño correspondientes (ángulo de contacto y tiempo de humectación) con la adición de agentes humectantes.
- Comparar el fenómeno de humectación de las materias primas con y sin agentes humectantes mediante el análisis de superficie correspondiente.

## **2.5. Materiales y métodos**

### **2.5.1. Materiales**

Los materiales utilizados en la sección experimental fueron: mezcla de cereales tipo claro y oscuro, proporcionados por Industria Química Andina y CIA S.A, Colombia; mezclas oleaginosas 1 y 2, proporcionadas por Manitoba S.A, Colombia; panela granulada, proporcionada por Ingenio Río Paila, Colombia; extracto de malta, proporcionado por Maltexcoop Food, Argentina; Aroma a chocolate, proporcionado por GH fragancias y saborizantes, Colombia; y estabilizante, proporcionado por Colorquímica S.A, Colombia. Finalmente, para evaluar la humectabilidad de los componentes problema se utilizaron tres agentes humectantes en su estado puro: glicerina, PEG 400 y lecitina de soya; los cuales fueron suministrados por la Universidad Icesi.

### **2.5.2. Métodos**

#### **2.5.2.1. Caracterización térmica**

Las materias primas y el producto comercial, fueron estudiados en un DSC Q2000 (DSC; TA Instruments, New Castle, DE, USA) calibrado con indio  $T_f = 155,78 \text{ }^\circ\text{C}$   $\Delta H_f = 28,71 \text{ J/g}$ . Los análisis DSC se llevaron a cabo utilizando tres ciclos de calefacción y refrigeración desde  $-50^\circ\text{C}$  a  $300^\circ\text{C}$  con una velocidad de calentamiento de  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ .

#### **2.5.2.2. Caracterización morfológica**

Cada uno de los materiales de interés, se observaron en un portaobjetos a través del microscopio óptico marca Nikon eclipse E100, utilizando el objetivo 40X. Después, se tomaron imágenes fotográficas a cada uno de los componentes observados.

#### **2.5.2.3. Determinación de la distribución del tamaño de partícula**

Se obtuvo el peso de cada tamiz vacío, y luego se adicionó la muestra para someterla a vibración por 15 minutos. Pasado el tiempo, se pesó cada tamiz con su contenido correspondiente, y así se conoció la cantidad en gramos (g) retenida en cada tamiz. Para ello, se usó un sistema de tamizaje por golpeteo, en la batería de tamices Ro-TAP-Rx-29 (wsTyler, Mentor, OH USA). La relación entre el número de los tamices y el tamaño de partícula se encuentra a continuación. Este procedimiento se realizó por triplicado.



**Figura 4.** Batería de tamices Ro-TAP-Rx-29 (wsTyler, Mentor, OH USA).

Los tamices utilizados para la prueba de distribución de tamaño de partícula se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Tamices usados para la prueba.

No. Tamiz	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )
40	425
60	250
80	180
100	150
200	75
250	58
bandeja	N/A

**2.5.2.4. Determinación de las propiedades de flujo, de compactación y la humedad del material particulado**

En primera instancia, se determinó el ángulo de reposo mediante el método del embudo fijo. Para ello, se pesaron 50 g de cada materia prima y del producto comercial. Se ubicó un embudo de plástico a 15 cm de la superficie plana y se dejó caer el polvo dejándolo fluir por el mismo y calculando el tiempo que se demoraba. El cálculo del valor del ángulo de reposo se muestra en el Anexo 2.

En segunda medida se determinó la humedad de cada materia prima mediante una Termobalanza (Max 50/1/WH). La determinación del

contenido de humedad se realizó hasta peso constante, manejando una temperatura de 90°C, para garantizar que ningún material se fundiera mientras se realizaba la prueba.

En tercer lugar se determinó el índice de Carr e índice de Hausner (Suñé, y otros, 2011), ejecutados mediante un estudio de densidad aparente y compactada, utilizando un Apisonador (Tap-2S), siguiendo el método II reportado por la USP 36/NF 31 en el capítulo <616>; empleando 100g de cada materia prima y una probeta de 250mL. Se determinó el valor del % de compresibilidad o índice de Carr, densidad global, densidad apisonada, voluminosidad y porosidad (Anexo 2). Todas las pruebas se realizaron por triplicado.



**Figura 5.** (a) montaje para el método del embudo fijo, (b) Termobalanza (Max 50/1/WH), y (c) Apisonador (Tap-2S).

En la tabla 2 se presentan los parámetros de calificación para las variables que determinan la fluidez del polvo: ángulo de reposo, índice de Hausner e índice de Carr.

**Tabla 2.** Parámetros de calificación para las variables de fluidez (*The United States Pharmacopeial Convention, 2013*).

Fluidez	Ángulo de reposo	Índice de Carr	Índice de Hausner
Excelente	25-30	≤10	1,00-1,11
Buena	31-35	11-15	1,12-1,18
Adecuada	36-40	16-20	1,19-1,25
Aceptable	41-45	21-25	1,26-1,34

Pobre	46-55	26-31	1,35-1,45
Muy pobre	56-65	32-37	1,46-1,59
Extremadamente pobre	>66	>38	>1,60

#### 2.5.2.5. Proceso de pre humectación y tiempo de humectabilidad

Después de haber realizado las caracterizaciones morfológica y granulométrica, se determinaron las materias primas problema. A estos materiales se les realizó el proceso de pre humectación en un mortero con los siguientes agentes: glicerina al 3%, 6% y 9%; PEG 400 al 3%, 6% y 9%; y lecitina de soya al 0,2%, 0,8% y 1,5%; concentraciones p/p.

Una vez se obtuvieron las mezclas, se pesaron tres gramos (3 g) de cada una y se adicionaron a una probeta con 50 mL de agua desionizada. Se realizó la agitación manual correspondiente y con un cronómetro se midió el tiempo que el sólido se demoraba en flotar o en hundir. Esta prueba se realizó por triplicado.



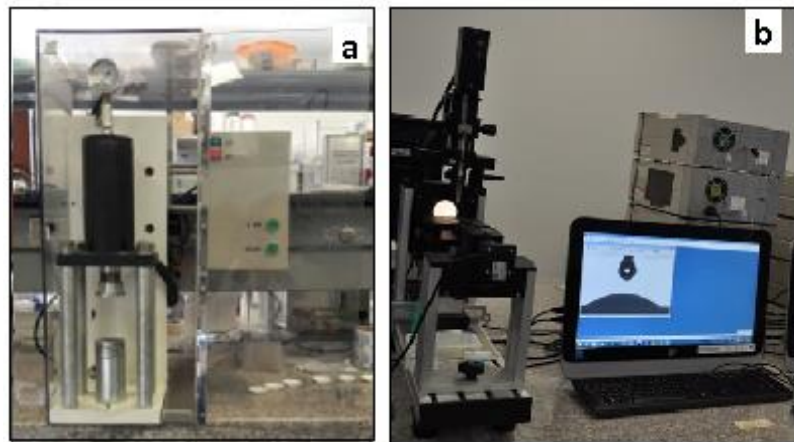
**Figura 6.** Montaje para la medición del tiempo de humectación.

#### 2.5.2.6. Determinación del ángulo de contacto ( $\theta$ ) y el trabajo de adhesión ( $W_{adh}$ )

Las materias primas fueron sometidas a secado a 40°C durante 4 horas en una estufa, con el fin de reducir la humedad de estas. En primera medida, se evaluó el ángulo de contacto de todas las materias primas, incluyendo el producto, para reafirmar cuáles materiales presentaban problemas de disolución. Posterior a dicha determinación, se elaboraron tabletas comprimidas de 1 g correspondiente a cada materia prima problema con y sin el tratamiento de pre humectación, por medio de una tableteadora mono

punzón con fuerza de aplicación de 300 PSI por 10 segundos con punzón de  $\frac{3}{4}$ ". Las tabletas fueron mantenidas en desecadores antes de la prueba de ángulo de contacto.

Cada una de estas tabletas se dispuso en el equipo de medición de ángulo de contacto. La medición de este parámetro se llevó a cabo utilizando el método de la gota *sessile* empleando un medidor Dathaphysics Instruments OCA15EC, con controlador de software (SCA20 versión 4.5.14). La captura de datos se realizó usando una cámara de video IDS, donde el punto de captura del ángulo de contacto fue cuando el reflejo de la luz de la gota incidente desapareció completamente. Como solventes de estudio se utilizaron Agua, Isopropanol y Etilenglicol, los dos últimos solventes para calcular el trabajo de adhesión. Esta prueba se realizó por triplicado.



**Figura 7.** (a) Tableteadora mono punzón y (b) Medidor de ángulo de contacto Dathaphysics Instruments OCA15EC.

La relación entre el ángulo de contacto y el trabajo de adhesión se muestra a continuación, teniendo en cuenta la figura 3a, ya que se puede expresar el ángulo de contacto en términos de equilibrio sólido-líquido-aire, así:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Si se sustituye en la ecuación de energía libre de adhesión (ecuación 2),

$$W_{adh} = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$W_{adh} = \gamma_{LV} + (\cancel{\gamma_{SL}} + \gamma_{LV} \cos \theta) - \cancel{\gamma_{SL}}$$

$$Wadh = \gamma_{LV} + (\gamma_{LV} \cos \theta)$$

$$Wadh = \gamma_{LV}(1 + \cos \theta)$$

**(Ecuación 3)**

Adicionalmente, se realizó un tratamiento estadístico (ANOVA-prueba de Tukey) para verificar cuáles agentes humectantes disminuían significativamente el ángulo de contacto de las materias primas seleccionadas.

Este tratamiento de datos se realizó teniendo en cuenta dos hipótesis para todos los casos:

Ho: No hay efecto significativo en la disminución del ángulo de contacto

Hi: Sí existe efecto significativo en la disminución del ángulo de contacto

Se tomó un nivel de significancia de 0,05. Si el valor p es menor a 0,05 ( $p < 0.05$ ); entonces se rechaza la hipótesis nula (Ho), es decir, al menos una de las concentraciones del agente humectante que se está evaluando es diferente al control. Por el contrario, si el valor p es mayor a 0,05 ( $p > 0.05$ ); entonces se acepta Ho y no hay diferencia significativa entre el tratamiento humectante y el control.

**Tabla 3.** Matriz de marco lógico

<b>Objetivo general</b>			
Optimizar la formulación correspondiente al suplemento dietario en polvo “Chocohop” con problemas de dispersabilidad en agua, a partir de estudios relacionados con el proceso de mezcla y la caracterización de las propiedades granulométricas, en la Universidad Icesi durante el año 2016.			
<b>Objetivo específico</b>	<b>Actividades</b>	<b>Supuestos</b>	<b>Indicador</b>
<b>Objetivo 1:</b> Caracterizar la mezcla y cada uno de sus componentes mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC)	Solicitud de la asistencia técnica para la utilización del equipo	Disponibilidad del tiempo del técnico para la utilización del equipo	Obtención de señales térmicas específicas para cada uno de los componentes del producto y en la mezcla correspondiente.
	Análisis de los datos obtenidos para el producto de estudio y cada uno de	Disponibilidad y estado del equipo para la obtención de los resultados en el menor tiempo posible	Comparación entre las señales individuales y las de la mezcla para conocer las posibles interacciones que tengan los componentes

	los componentes		
	Establecer los factores térmicos que puedan afectar la velocidad de disolución del producto		
	Evaluación de las posibles interacciones entre los componentes del producto (incompatibilidad de excipientes)		
<b>Objetivo 2:</b> Caracterizar granulométricamente la morfología, fluidez, compactabilidad, humedad y tamaño de partícula de la mezcla y de cada uno de los componentes	Solicitud de los materiales necesarios para la caracterización granulométrica	Disponibilidad y estado de los equipos para la obtención de los resultados requeridos para el estudio	Caracterización de cada uno de los componentes y la mezcla para detectar posibles problemas en la velocidad de disolución del producto
	Observar la mezcla de estudio y cada uno de sus componentes por microscopía óptica para definir la morfología		Selección de las materias primas que resultan problemáticas para la dispersión del producto.



<p>Establecer los factores asociados a la morfología que puedan afectar la velocidad de disolución del producto</p>		
<p>Determinar la fluidez de la mezcla y de cada uno de sus componentes mediante el método del ángulo de reposo</p>		
<p>Análisis de los datos de fluidez obtenidos</p>		
<p>Seleccionar los posibles componentes que generan problemas de disolución</p>		
<p>Determinar la distribución del tamaño de partícula de la mezcla de estudio y de cada uno de sus componentes</p>		
<p>Análisis de los datos obtenidos y evaluación de los posibles</p>		

problemas de disolución asociados al tamaño de partícula		
Determinar el grado de compactabilidad mediante el método del apisonador		
Cálculo de la compactabilidad de la mezcla de estudio y cada uno de sus componentes mediante la fórmula del índice de Carr y la razón de Housner		
Cálculo de la porosidad y de la voluminosidad con las densidades halladas		
Análisis de los factores calculados para la evaluación de los posibles problemas de disolución que presenten los componentes		

<p><b>Objetivo 3:</b> Evaluar el fenómeno de dispersabilidad de las materias primas problema, mediante las pruebas de desempeño correspondientes (ángulo de contacto y tiempo de humectación) con la adición de agentes humectantes</p> <p><b>Objetivo 4:</b> Comparar el fenómeno de humectación de las materias primas con y sin agentes humectantes mediante el análisis de superficie correspondiente.</p>	<p>Solicitar los materiales necesarios para la prueba</p>	<p>Falta de tiempo para proponer las mejoras correspondientes a la formulación</p>	
	<p>Determinación del tiempo de humectabilidad en agua y los ángulos de contacto</p>		
	<p>Análisis de los datos obtenidos para la determinación de los componentes que generan problemas de dispersión en la formulación del suplemento dietario</p>		
	<p>Comparación de los agentes humectantes a partir de los ángulos de contacto obtenidos</p>		

## 2.6. Resultados y discusión

### 2.6.1. Caracterización térmica

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) se realizó con el fin de obtener los termogramas correspondientes a cada materia prima individual y del producto comercial para determinar el grado de interacción entre los materiales mencionados como se muestra en el Anexo 3. Las transiciones se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4.** Resultados de los termogramas para cada materia prima y el producto comercial.

Materia prima	Transiciones (°C)	
	Aroma	121,12
Cereal claro	169,3	
Cereal oscuro	106,06	
Estabilizante	148,73	180,21
Extracto de malta	144,26	172,51
Oleaginosas 1	-7,85	121,21
Oleaginosas 2	-19,87	119,99
Panela	134,17	181,28
Producto	-7,9	141,58
	162,75	206,4

El flujo diferencial de calor se monitorea durante el calentamiento de la muestra y de la referencia (Marino & Buera, 2013).

Para los cereales claro y oscuro, se ve una señal correspondiente a la temperatura de fusión a 169,30°C y 106,06°C, respectivamente. Para el caso del extracto de malta y la panela, presentan una señal endotérmica correspondiente un cambio térmico a una temperatura de 144,28°C para el extracto de malta y 134,17°C para la panela. A su vez, al aumentar más la temperatura se observa la fusión de los cristales a diferentes temperaturas: 172,51°C para el extracto de malta y 181,28°C para la panela; produciendo un pico endotérmico.

Además, para el caso de las oleaginosas 1 y 2, se observan dos endotérmicos muy pronunciados. La primera señal para oleaginosas 1

aparece a una temperatura de  $-7,85^{\circ}\text{C}$ ; y la segunda a  $121,21^{\circ}\text{C}$ . Por otro lado, para las oleaginosas 2, la primera señal aparece a una temperatura de  $-19,87^{\circ}\text{C}$ ; y el segundo pico a  $119,99^{\circ}\text{C}$ . Entonces, esto se debe a que se dan dos transformaciones debido al calentamiento de la muestra. Estas dos transformaciones hacen referencia a la composición variada que se encuentra en estas materias primas, ya que no son materias primas puras.

Para el aroma y el estabilizante, se observan dos picos endotérmicos. La primera señal para el aroma se encuentra a una temperatura de  $121,12^{\circ}\text{C}$  correspondiente a una transición térmica; y la segunda señal se encuentra a  $161,83^{\circ}\text{C}$  la cual corresponde al punto de fusión. Por otro lado, la primera señal del estabilizante se encuentra a  $148,73^{\circ}\text{C}$  correspondiente a una transición térmica; y la segunda señal se encuentra a  $180,21^{\circ}\text{C}$  correspondiente a la temperatura de fusión.

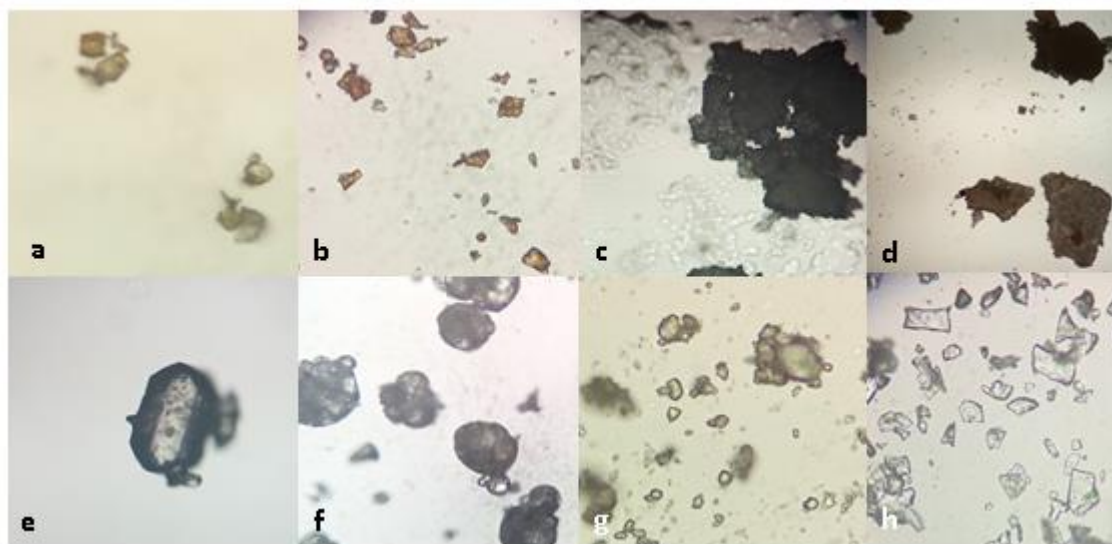
Finalmente, el producto presenta las señales características de las materias primas mencionadas anteriormente. Por lo tanto, se puede decir que no hay interacciones entre los excipientes. Sin embargo, se observa una señal atípica a una temperatura de  $206,4^{\circ}\text{C}$ , la cual puede corresponder a las propiedades de mezcla, ya que los componentes se comportan de manera diferente de manera individual y en forma de mezcla.

#### **2.6.2. Caracterización morfológica de las materias primas sólidas pulverulentas**

La caracterización morfológica de las materias primas sólidas pulverulentas es importante, ya que puede condicionar muchas de sus propiedades. Por ejemplo, puede afectar factores como la fluidez y la velocidad de disolución del producto. La literatura reporta trabajos donde se demuestra que la solubilidad de un polvo instantáneo se ve influenciada por la microestructura de sus componentes (Yuan, 2013).

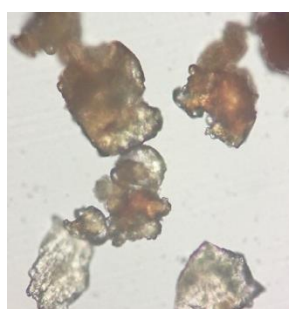
Se debe tener en cuenta que dependiendo de la cristalinidad de las partículas, puede cambiar algunas de sus características físicas. Por ejemplo, una partícula cristalina, en la cual la disposición de los átomos, moléculas o iones a través de las tres dimensiones es muy ordenada, presenta menor área superficial que una partícula amorfa (no presenta ese ordenamiento) generando un menor contacto con el solvente y como consecuencia disminuye la velocidad de disolución del sólido. Entonces, las materias primas que pueden presentar mayor problema en el proceso de disolución son aquellas que tienen estructuras cristalinas (Vila, 2001). Sin embargo, se debe tener en cuenta que la cristalinidad de un compuesto no es el único factor que afecta la velocidad de disolución.

Como se observa en la figura 8, casi todas las materias primas presentan formas irregulares y de diferentes tamaños. Sin embargo, materiales como el endulzante se puede observar que tiene una forma regular, al igual que el extracto de malta (forma esférica) y el estabilizante (forma cúbica).



**Figura 8.** (a) Cereal claro, (b) Cereal oscuro, (c) Maní, (d) Oleaginosas, (e) Endulzante (panela), (f) Extracto de malta, (g) Aroma y (h) Estabilizante.

Por lo tanto, por la diferencia de formas y de tamaños, el producto comercial presenta a nivel microscópico partículas amorfas e irregulares (figura 9).



**Figura 9.** Morfología del producto comercial.

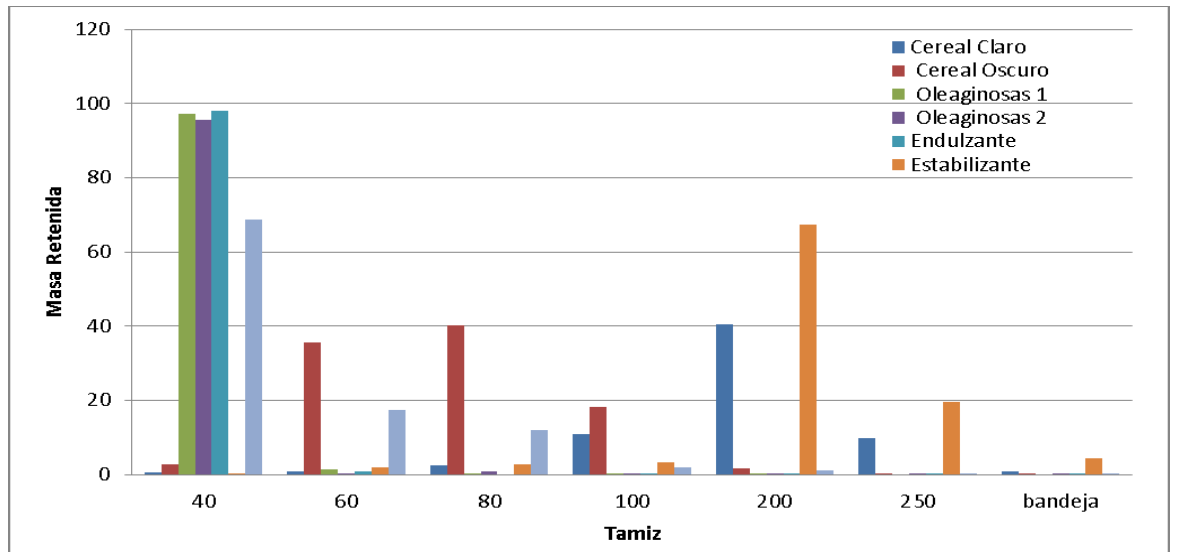
### 2.6.3. Determinación de la distribución del tamaño de partícula

Una variable que afecta directamente la fluidez y la velocidad de disolución de los materiales es el tamaño de partícula. Frecuentemente, aquellos polvos que poseen un tamaño de partícula pequeño ( $<50 \mu\text{m}$ ), suelen ser más cohesivos por las fuerzas interparticulares, generando

poca fluidez. Sin embargo, al tener menor tamaño de partícula, el área superficial de las partículas se verá aumentada, generando así mayor contacto con el solvente, lo cual promueve las interacciones favorables entre ellos facilitando el proceso de dispersión.

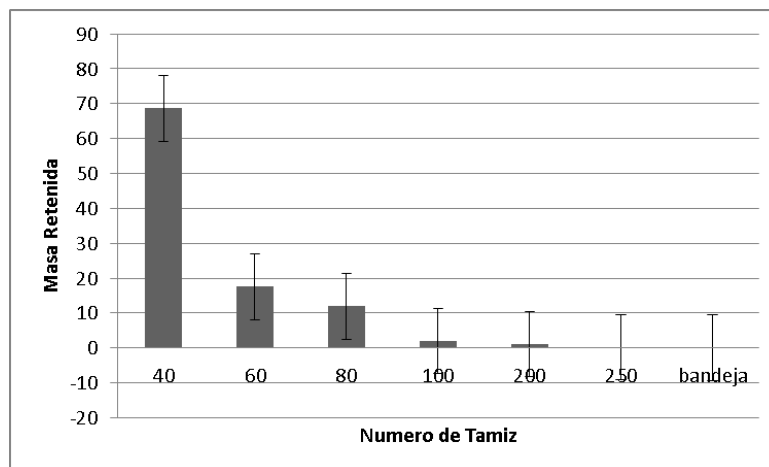
Por otro lado, diversos estudios han mostrado la relación entre propiedades físicas, químicas y la composición de la superficie de polvos con las propiedades de instantaneidad de un producto en polvo; así los resultados para productos a base de cacao y azúcar, indican que poseen buena propiedad instantánea para tamaños de partícula  $>0.4$  mm, mientras que para partículas  $<0.2$  esta propiedad no es buena (Peñaloza, 2008).

En la figura 10 se puede observar la distribución del tamaño de partícula para cada materia prima evaluada. Entonces, como se observa en la gráfica, la mayoría de los materiales presentan un sesgo hacia el lado izquierdo de la gráfica lo que significa que el tamaño de las partículas es mayor a  $250 \mu\text{m}$  (tamiz # 60).



**Figura 10.** Distribución del tamaño de las partículas de las materias primas.

Asimismo, en la figura 11, se confirma este mismo comportamiento para el producto comercial.



**Figura 11.** Distribución del tamaño de las partículas del producto comercial.

Lo anterior da una idea general de que materias primas como los Cereales tienen problemas al momento de dispersarse. Sin embargo, es muy importante conocer la composición química de cada uno de los materiales para conocer más certeramente el comportamiento de ellos en un medio de dispersión.

#### **2.6.4. Determinación de las propiedades granulométricas de flujo, de compactación y de humedad del material particulado**

##### **2.6.4.1. Ángulo de reposo**

El ángulo de reposo es una medida que está relacionada con la fricción interna y la cohesión entre las partículas del polvo. Sin embargo, se debe tener en cuenta las limitaciones de este método: es útil para aquellas materias primas que no son cohesivas, ya que se necesita que al caer por el embudo de plástico debe formar un cono; por otro lado, si es muy cohesivo el polvo, entonces no se formará un cono perfectamente definido. Además, es un método poco reproducible, ya que las condiciones experimentales afectan considerablemente los resultados que se obtengan (Vila, 2002).

Cuando se realizó esta prueba a las materias primas y al producto comercial, todas presentaron una aptitud al flujo destacable. Sin embargo, al momento de realizar la prueba, todas las muestras presentaron problemas al fluir por el cono de plástico, entonces se tuvo que generar ciertas vibraciones para que pudiera seguir con el trayecto.



Finalmente, estos resultados no son tan confiables como la compresibilidad y el índice de Hausner, ya que estos parámetros se miden a partir de los volúmenes aparente y compactado, las cuales son medidas indirectas que no se ven afectadas por las condiciones experimentales.

Se registra en la Tabla 4 el promedio de cada medida con la respectiva desviación estándar. La aptitud al flujo se determinó mediante los parámetros mencionados en la tabla 2.

**Tabla 5.** Ángulo de reposo y velocidad de deslizamiento de las materias primas y del producto comercial.

Materia Prima		Ángulo (Radianes)	Ángulo (Grados)	Tiempo (s)	Aptitud al Flujo
Cereal Claro	x	0,5120	29,3377	21,7133	Excelente
	s	0,0640	3,6665	0,3443	
Cereal Oscuro	x	0,6506	37,2788	30,8167	Bastante correcta
	s	0,0471	2,7008	2,3561	
Oleaginosas 1	x	0,5081	29,1100	15,8425	Excelente
	s	0,0385	2,2073	2,0015	
Oleaginosas 2	x	0,5587	32,0097	51,8033	Buena
	s	0,0374	2,1437	1,8001	
Endulzante	x	0,4161	23,8391	2,4533	Excelente
	s	0,0092	0,5252	0,1604	
Extracto de Malta	x	0,2863	16,4046	14,3850	Excelente
	s	0,0231	1,3210	5,4919	
Aroma	x	0,5020	28,7597	10,7933	Excelente
	s	0,0295	1,6874	1,5761	
Estabilizante	x	0,6843	39,2094	60,9033	Bastante correcta
	s	0,0273	1,5660	8,9333	
Producto	x	0,4348	24,9111	15,9033	Excelente
	s	0,0266	1,5241	1,4997	

#### 2.6.4.2. Índice de Carr (IC) e Índice de Hausner (IH)

De acuerdo a la Farmacopea Americana (USP 38/ NF 33), y como se observa en la Tabla 6, el producto tiene un IC de 8.060, por lo que presenta propiedades de flujo excelentes. Por otra parte, se encontró que las materias primas en general tienen unas propiedades de flujo

buenas y correctas. Por otro lado, el índice de Hausner corresponde a las mismas apreciaciones anteriores a las propiedades de flujo tanto para el producto, el cual evidencia un valor de 1.09, correspondiente a un flujo excelente; y para las materias primas unas propiedades de flujo que van desde buenas a correctas.

**Tabla 6.** Índice de Carr (IC) e Índice de Hausner de las materias primas y del producto comercial.

Materia Prima		IC	Densidad Aparente	Densidad Apisonada	Voluminosidad	Porosidad	IH
<b>Cereal Claro</b>	x	16,280	0,570	0,680	1,760	16,280	1,190
	s	0,006	0,005	0,020	1,550	0,022	0,000
<b>Cereal Oscuro</b>	x	17,110	0,410	0,500	2,410	17,110	1,210
	s	0,007	0,000	0,042	1,419	0,021	0,000
<b>Oleaginosas 1</b>	x	11,730	0,430	0,490	2,330	11,730	1,130
	s	0,006	0,017	0,031	1,929	0,025	0,000
<b>Oleaginosas 2</b>	x	13,310	0,430	0,500	2,340	13,310	1,160
	s	0,009	0,034	0,047	7,074	0,101	0,000
<b>Endulzante</b>	x	12,930	0,650	0,740	1,550	12,930	1,150
	s	0,005	0,006	0,012	0,096	0,001	0,000
<b>Extracto de Malta</b>	x	13,060	0,500	0,570	2,010	13,060	1,150
	s	0,027	0,010	0,111	4,080	0,056	0,000
<b>Aroma</b>	x	18,930	0,540	0,660	1,870	18,930	1,230
	s	0,009	0,010	0,031	0,439	0,007	0,000
<b>Estabilizante</b>	x	16,730	0,540	0,650	1,850	16,730	1,200
	s	0,011	0,015	0,038	2,637	0,038	0,000
<b>Producto</b>	x	8,060	0,470	0,510	2,120	8,060	1,090
	s	0,472	0,514	2,120	8,061	1,089	0,000

La compactabilidad es una medida indirecta de la densidad aparente, la forma, el tamaño, el área superficial, el contenido de humedad y la cohesividad del material. Por ello, fue importante realizar este procedimiento para tener un mejor conocimiento de la fluidez de cada materia prima y del producto actual. A partir de las densidades aparente y compactada se puede hallar varios factores como la voluminosidad, la porosidad, la compresibilidad y el índice de Hausner. Cuando un material es poroso, va a tener mayor contacto con el medio y va a permitir que se pueda dispersar con más facilidad. Entonces a partir de ello se puede decir que las materias primas

menos porosas pueden generar problema al momento de dispersar el producto. Entre ellas están el estabilizante y el producto comercial actual, presente dicha dificultad.

El índice de Hausner da información acerca de la fluidez del sistema. A partir de 1,26 se dice que el polvo tiene poca fluidez, es decir, que tiende a ser cohesivo y dificulta el proceso de disgregación por el cual debe pasar el producto para poder dispersarse. Según los resultados, todas las materias primas se encuentran debajo de este número, por lo que se puede decir que no son lo suficientemente cohesivas para ocasionar problemas graves. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no es el único factor que puede afectar la velocidad de dispersión como se mencionó anteriormente.

#### **2.6.4.3. Determinación de la humedad del material particulado**

La humedad es la cantidad de agua o vapor de agua que está presente en un medio. Es importante la medición de este parámetro, ya que al tener mayor humedad adsorbida, las fuerzas de cohesión entre partículas tenderán a ser mayores, es decir, que van a haber mayores puentes de contacto entre ellas lo cual, puede afectar indirectamente la velocidad de dispersión del producto.

Para el producto se obtuvo un perfil de secado obteniendo un porcentaje de humedad de 4,823%. En la Tabla 6 se observan los porcentajes de humedad correspondientes a cada materia prima.

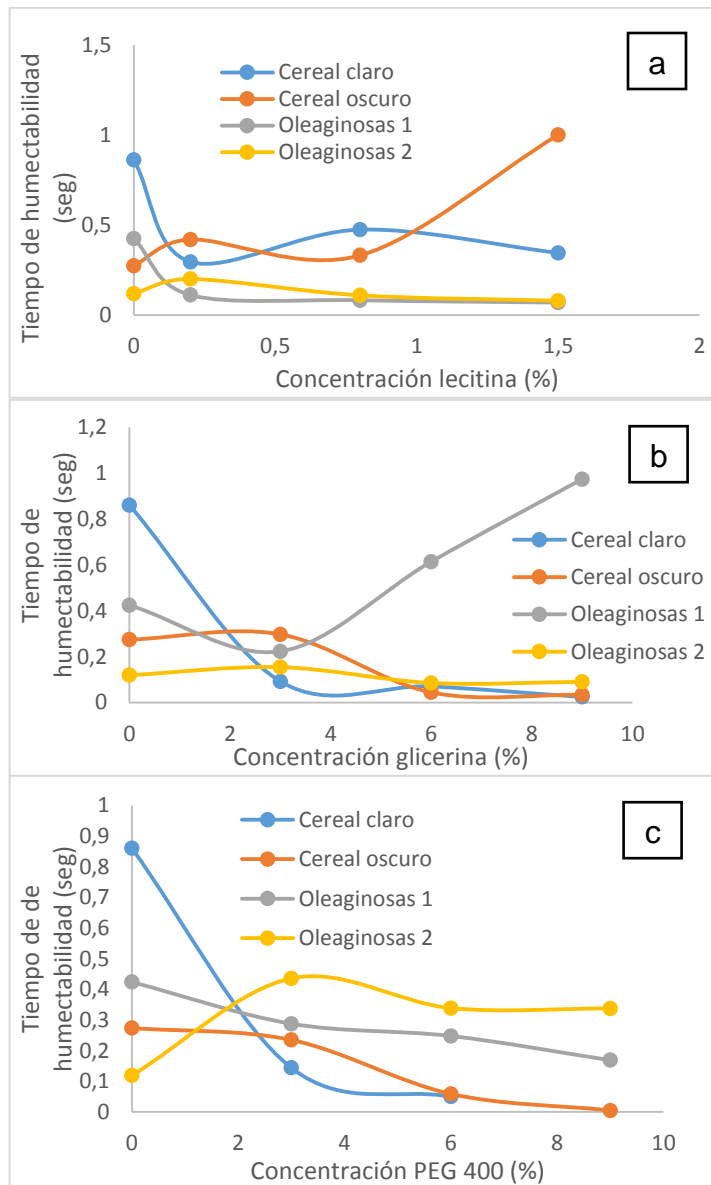
**Tabla 7.** Porcentajes de humedad para las materias primas.

<b>Materia prima</b>	<b>% humedad</b>
Cereal claro	4,005
Cereal oscuro	3,471
Maní	1,689
Mezcla oleaginosas	1,062
Panela	2,225
Extracto de malta	2,141
Aroma	19,993
Estabilizante	9,273
Producto	4,823

Según la norma venezolana COVENIN No 2125, las mezclas deshidratadas para bebidas instantáneas deben tener un porcentaje máximo de humedad del 5%. Como se puede observar en los resultados, el producto comercial tiene un porcentaje de 4,823%, el cual entra en el rango mencionando anteriormente. Sin embargo, hay dos materias primas (estabilizante y el aroma) que se encuentran muy por encima de este porcentaje, con valores de 9.273 y 19.993, respectivamente. No obstante, no se consideran materias primas problema, ya que la proporción de estos materiales en el producto terminado son mínimas para que puedan afectar considerablemente la dispersión del mismo.

#### **2.6.5. Proceso de pre humectación y tiempo de humectabilidad**

Para la prueba del tiempo de humectabilidad se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 12)



**Figura 12.** Influencia de los agentes humectantes en el tiempo de humectabilidad, donde (a) lecitina; (b) glicerina; y (c) PEG 400.

A partir de lo anterior, se puede decir que aquellos humectantes que disminuyan el tiempo en el que el sólido demore en hundirse, se alcanzó la humectabilidad adecuada. Por lo tanto, se puede ver que el agente humectante que generó esta disminución del tiempo para todas las materias primas fue el PEG 400. En contraste, la lecitina de soya presenta un aumento del tiempo para el cereal oscuro; y la glicerina para las oleaginosas 1.

### **2.6.6. Determinación del ángulo de contacto ( $\theta_c$ ) y trabajo de adhesión (Wadh)**

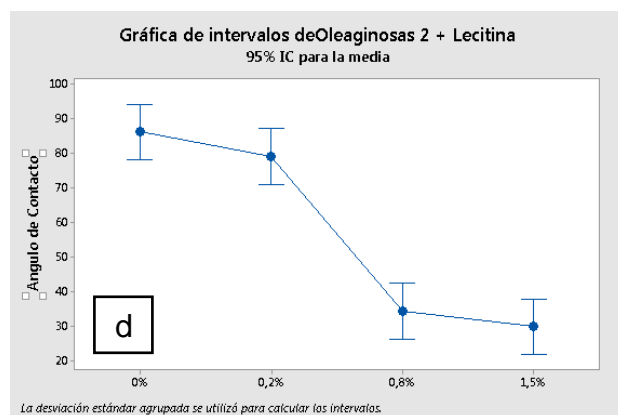
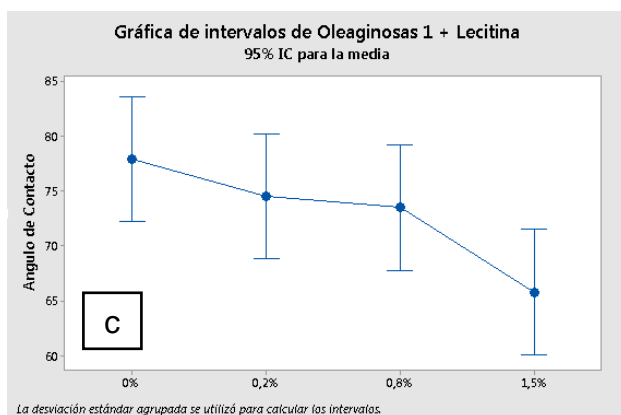
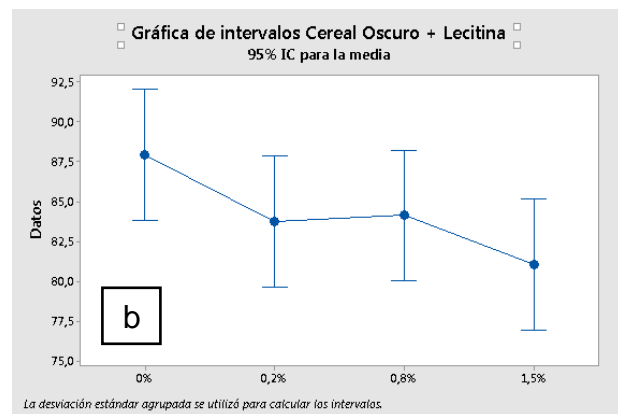
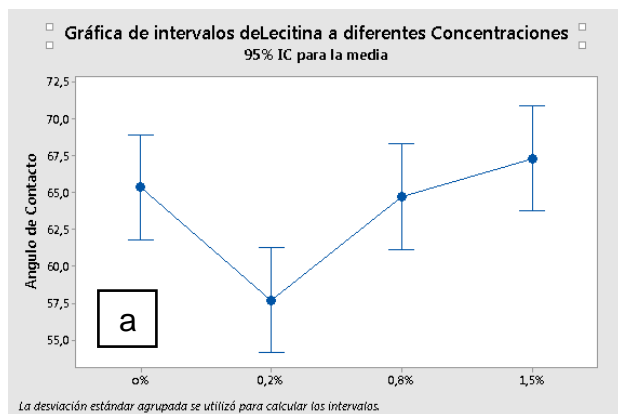
El ángulo de contacto es un parámetro primario utilizado ampliamente para cuantificar la humectabilidad de una superficie sólida por un líquido. Un ángulo de contacto pequeño ( $\theta < 90$ ) representa una buena capacidad de humectación para el sólido y un gran ángulo de contacto ( $\theta > 90$ ) representa un pobre comportamiento del sólido a la humectación.

El tratamiento con lecitina tuvo diferentes resultados para cada materia prima. Para el cereal claro, se obtuvo que la disminución del ángulo de contacto fue significativa para las concentraciones de 0,2% y 0,8%; sin embargo, la concentración más significativa fue la del 0,2% como se muestra en la figura 13a. Por otro lado, para el cereal oscuro no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre el control y el tratamiento con lecitina en cualquiera de sus concentraciones.

Por otro lado, para el caso de las oleaginosas 1, la lecitina disminuyó significativamente el ángulo de contacto en las tres concentraciones evaluadas; pero la concentración que tenía mayor diferencia con el control fue la del 1,5% como se muestra en la figura 13c. Finalmente, para las oleaginosas 2, se encontró una diferencia significativa en las concentraciones 0,8% y 1,5%.

La lecitina es una mezcla compleja de varios ingredientes, incluyendo fosfolípidos que son los componentes activos eficaces. A nivel comercial, la lecitina se extrae de las semillas de soja. Dentro de sus aplicaciones está la mejora de la instantaneización de los productos en polvo en concentraciones del 0,2% - 1,5% (Chocano, 1999).

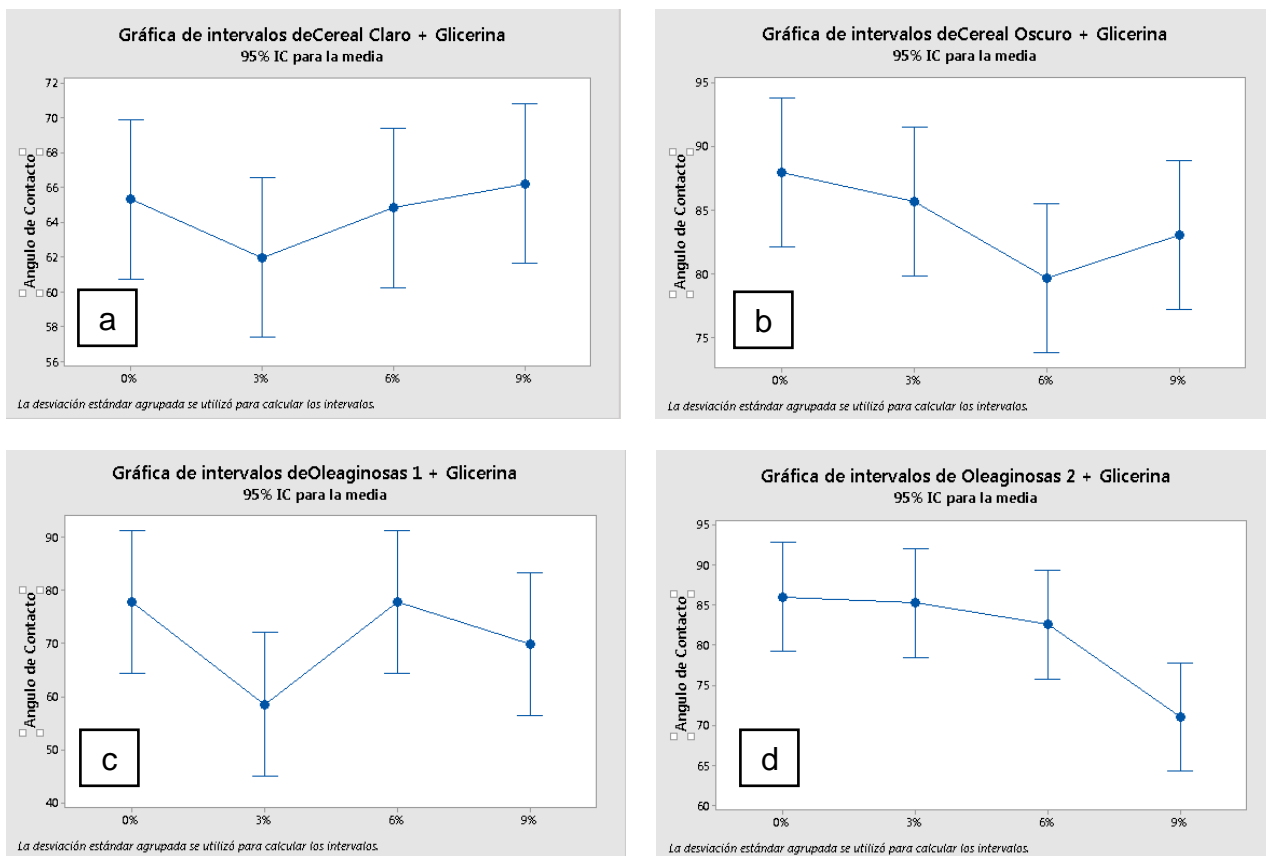
La lecitina posee un carácter predominante lipófilo, lo cual puede influir en la concentración para cada materia prima. Por ejemplo, las oleaginosas 1 y 2, también son de carácter lipófilo, por lo que puede tener interacciones atractivas con la lecitina y por ello actúa mejor a las concentraciones más altas. Además, a menor concentración, el carácter lipófilo de la lecitina no es tan influyente como a altas concentraciones, por lo que puede ser más afín al cereal claro, como se observa en los resultados.



**Figura 13.** Tratamiento con lecitina para (a) cereal claro; (b) cereal oscuro; (c) oleaginosas 1; y (d) oleaginosas 2.

El tratamiento con glicerina no generó cambios estadísticamente significativos para el cereal claro, cereal oscuro y oleaginosas 1, es decir, que no tienen diferencias con el control, por lo que la humectación no fue exitosa. Sin embargo, para las oleaginosas 2 el tratamiento con glicerina disminuyó el ángulo de contacto a concentraciones de 6% y 9%, especialmente la concentración del 9%.

La glicerina tiene una amplia variedad de aplicaciones, tales como emulsionante, agente suavizador, plastificante, agente estabilizador y humectante (Landavazo & Cruz, 2014). Sin embargo, este aditivo no resultó una buena opción, ya que su capacidad de humectación no se evidenció con la prueba del ángulo de contacto.



**Figura 14.** Tratamiento con glicerina para (a) cereal claro; (b) cereal oscuro; (c) oleaginosas 1; y (d) oleaginosas 2.

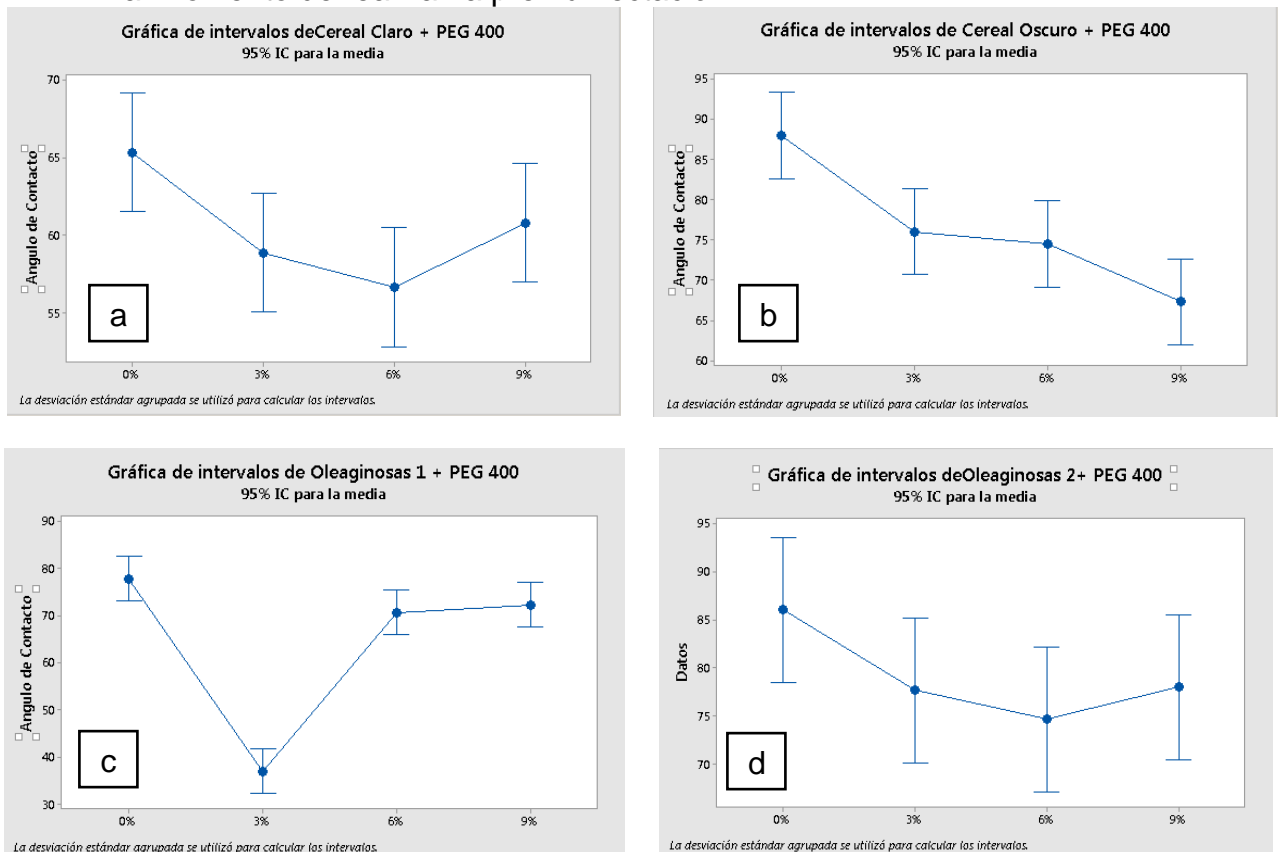
El tratamiento con PEG 400 resultó ser útil para tres de las materias primas evaluadas. Para el cereal claro, las tres concentraciones de este agente humectante resultaron significativas, pero la concentración más importante fue la del 6% (Figura 15a.). Para el caso del cereal oscuro, resultó estadísticamente significativa la disminución del ángulo de contacto a las tres concentraciones de igual forma. Para las oleaginosas 1, el tratamiento con PEG 400 resultó efectivo a la concentración de 3%. Finalmente, para las oleaginosas 2 no hubo diferencia significativa entre el control y el tratamiento.

En los resultados se puede observar que tiene muy buena capacidad de humectación en las materias primas evaluadas, debido a que presenta interacciones favorables con los materiales y con el medio de dispersión, que en este caso es el agua. A pesar de que en las oleaginosas no se observó un cambio significativo, en la figura 15d se observa que hay una disminución en las concentraciones de 6% y 9%.



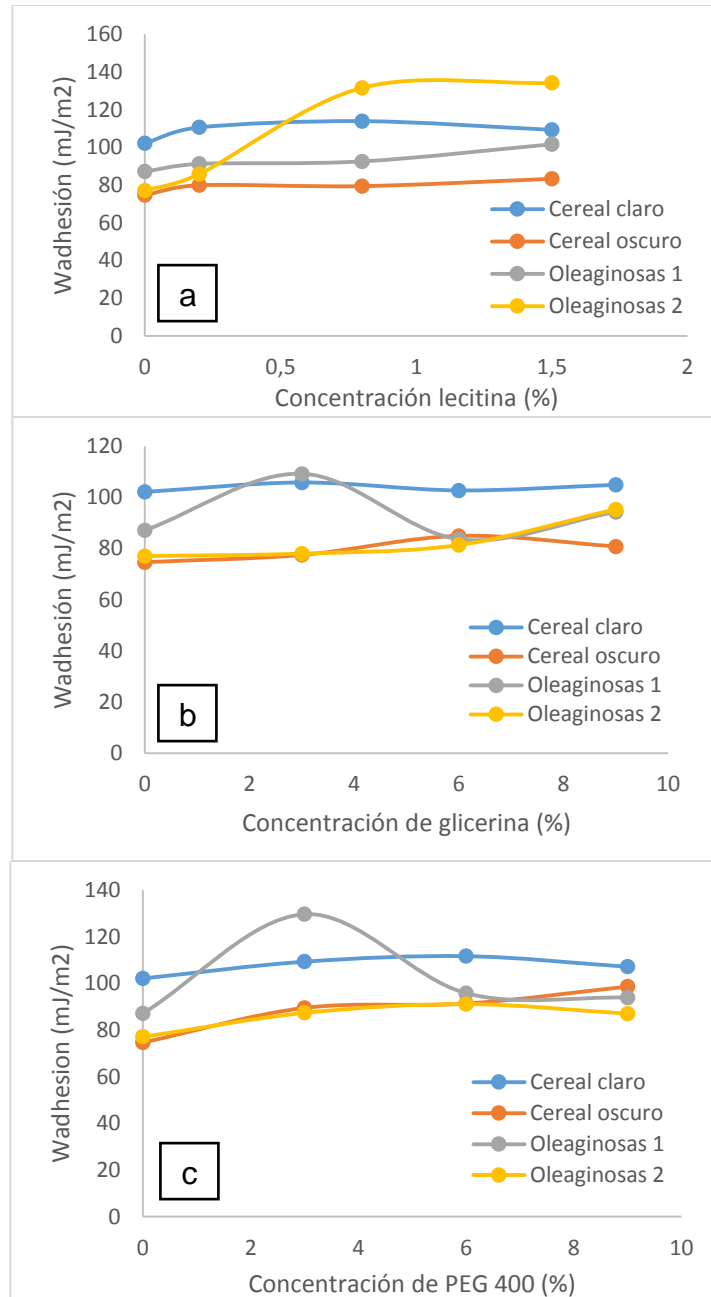
La propiedad de humectabilidad depende en gran parte del tamaño de las partículas; si son partículas grandes forman poros grandes. La alta porosidad y los pequeños valores del ángulo de contacto entre la superficie del poro y la de penetración en el agua, también contribuyen a mejorar la humectabilidad del polvo. Las partículas pequeñas que ofrecen una gran relación área/masa, no se humedecen individualmente, sino que forman aglomerados quedando cubiertas por una capa superficial mojada, la cual reduce la velocidad con que el agua penetra hacia el interior de las partículas del grumo. Lo anterior puede deberse a que las oleaginosas 2, presentaron un valor de porosidad menor que el de los cereales, como se observa en la tabla 2. Además, esta materia prima presenta una morfología amorfa, por lo que al reorganizarse todas las partículas van a generar menos poros y por tanto, hay menos probabilidad que el agente humectante pueda penetrar la superficie sólida.

Además, el trabajo con este polímero resulta mucho más sencillo que con la lecitina de soya, ya que este último es muy viscoso y dificulta su adición al momento de realizar la pre humectación.



**Figura 15.** Tratamiento con PEG 400 para (a) cereal claro; (b) cereal oscuro; (c) oleaginosas 1; y (d) oleaginosas 2.

Finalmente, para corroborar los resultados anteriores, se calculó el trabajo de adhesión entre el agente humectante y cada materia prima evaluada (Figura 16)



**Figura 16.** Influencia de los agentes humectantes en el trabajo de adhesión ( $W_{adh}$ ): (a) lecitina; (b) glicerina; y (c) PEG 400.

De acuerdo con la ecuación 3, el trabajo de adhesión para los sistemas con humectantes debería ser mayor, ya que el ángulo de contacto sería menor. A partir de la figura 16a, cuando se humectó con lecitina de soya, la tendencia de los datos es a permanecer constantes (muy parecido al control), teniendo en cuenta que para las oleaginosas 2 sí se ve un aumento claro. Por otro lado, cuando se humectó con glicerina, no hay una tendencia clara, ya que en algunos puntos aumenta y en otros disminuye el trabajo de adhesión. Finalmente, cuando se humectó con PEG 400, los valores de trabajo de adhesión tienden a aumentar para todas las materias primas; lo cual corrobora lo mencionado anteriormente para la disminución de los ángulos de contacto.

## 2.7. Conclusiones

- Se corroboró que la mezcla de las materias primas en el producto comercial, no tienen interacciones desfavorables entre ellas.
- Se logró identificar las materias prima problema en la formulación del producto “Chocohop”, respecto a la dispersabilidad. Las materias primas seleccionadas fueron: cereal claro, cereal oscuro, oleaginosas 1 y oleaginosas 2, por sus propiedades granulométricas.
- Se evidenció que el agente humectante PEG 400, tiene efectos beneficiosos sobre la dispersabilidad del cereal claro, el cereal oscuro y las oleaginosas 1.
- Se observó que los agentes humectantes lecitina de soya y PEG 400, influyen drásticamente en la disminución del ángulo de contacto. Lo anterior corrobora que la mojabilidad de las materias primas en presencia de los humectantes mencionados, mejoran contundentemente.
- Se decidió utilizar el agente humectante PEG 400 sobre la lecitina de soya, porque el trabajo con el mismo resulta ser menos engorroso que con la lecitina de soya, ya que esta última es altamente viscosa y las proporciones son mínimas por lo que dificulta el proceso de humectación del material.

## **2.8. Recomendaciones**

Para el caso de los productos alimenticios en polvo, son muy pocos los estudios de diseño y formulación. Por lo que se recomienda realizar más investigaciones, ya que pueden contribuir al mejoramiento de esta clase de productos.

Además, para el producto “Chocohop” se recomienda la evaluación de la solubilidad cuantitativa en el medio de dispersión más común, el cual es la leche. A pesar de ser una de las matrices más complejas, tiene muchas diferencias químicas y físicas con el agua, que podrían afectar los resultados de este estudio.

Finalmente, se recomienda hacer las pruebas necesarias para garantizar que la adición del agente humectante no afecte las características organolépticas del producto.

### 3. REFERENCIAS

- Alvírez, A. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Respyn*.
- Ansón, R. (2005). *Curso de Cultura Gastronomía y Ciencias de la Alimentación*. España: Industrias Gástricas Abulenses.
- Barbosa, C., Ortega, R., Juliano, P., & Yan, H. (2005). Food powders. Physical properties, processing, and functionality. *New York: Kluwer academic/Plenum publishers*.
- Ceballos, A. (2008). *Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta*. Manizales.
- Chocano, A. (1999). Recopilación tecnológica de agentes de textura y sus aplicaciones. 13.
- Chover, A. M. (2011). *Medicina Ortomolecular*. San Vicente: Editorial Club Universitario.
- Díaz, C. (2011). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los sustratos. *Capítulo 4, 87-98*.
- Dupas, J., Forny, L., & Ramaioli, M. (2015). Powder wettability at a static air-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 51-56.
- Florence, A. (2006). *Physicochemical Principles of Pharmacy*. Londres: Pharmaceutical Press.
- Freudig, B., Hogeckamp, S., & Schubert, H. (1999). Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. *Chemical engineering and processing*, 525-532.
- García, A., & Pacheco, E. (2010). Evaluación de una bebida láctea a base de harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) con la adición de ácido fólico. *Rev Chil Nutr Vol.37*, 480-492.
- García, M. (2013). De Hipócrates a la genómica nutricional: interacción genes-ácidos grasos. *Revista de endocrinología y nutrición*, No 21(1), 35-41.
- Genaro, A. (2005). Remington Farmacia. En A. Genaro. Lippincott Williams & Wilkins.
- Hoffer, A. (2009). Orthomolecular Treatment of Schizophrenia. *Journal of Orthomolecular Medicine*, 46.

- Icesi, U. (2015). Parámetros en el estudio de preformulación. *Sesión 2*.
- Jiménez, A., Beltrán, G., Aguilera, M., & Uceda, M. (2007). Calorimetría diferencial de barrido. Influencia de la composición del aceite de oliva virgen en su perfil térmico. *Grasas y aceites*, 122-129.
- Landavazo, M., & Cruz, M. (2014). Saborizante natural de sandía (*Citrullus Lanatus*) para el chicle de Chicozapote (*Manikara zapota*) proveniente del "Gran Petén". *Universida Politécnica de Quintana Roo*, 15.
- Marino, M., & Buera, M. d. (2013). Metodología para el estudio de aspectos supramoleculares. *Análisis avanzado de alimentos*, 1-16.
- Mínguez, M., & Pérez, A. (s.f.). Características químicas nutricionales y funcionales de los alimentos. *Agrocsic*, 11-20.
- Pacheco, E., Techeira, N., & García, A. (2008). Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extruida de ñame. *Rev Chil Nutr Vol. 35*, 452-459.
- Pauling, L. (1968). Orthomolecular psychiatry. *American Association for the Advancement of Science*, 265-271.
- Pazos, M., Gaiani, C., Galet, L., Calvet, R., Cuq, B., & Scher, J. (2012). Food powders: surface and form characterization revisited. *Journal of food engineering*, 1-21.
- Posada, S. (2012). *Posibilidades de penetración al mercado colombiano con alimentos funcionales*. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Rivera, J., Muñoz, O., Rosas, M., Aguilar, C., Popkin, B., & Willett, W. (2008). Consumo de bebidas para una vida saludable: recomendaciones para la población mexicana. *Salud pública Mex*, 173-195.
- Suñé, J., Pérez, P., Roig, M., Fuster, R., Hernández, C., Ruhí, R., . . . Ticó, J. (2011). Optimization of parameters of the SeDeM Diagram Expert System: Hausner index (IH) and relative humidity (%RH). *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 464-472.
- Suriñach, S., Baro, D., Bordas, S., Clavaguera, N., & Clavaguera, N. (1992). La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la ciencia de materiales. *Bol Soc Esp Ceram Vidr*, 11-17.
- TEGO. (s.f.). *Aditivos humectantes de substrato*. Obtenido de TEGO wet - TEGO twin: <http://www.tego.de/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/Tego/es-mx/technical-background-substrate-wetting-additives.pdf>

- Valencia, U. d. (2015). Fenómenos de superficie. *Departamento de Química Física*.
- Vertice, E. (2010). *Nutrición y dietética*. Málaga: Publicaciones vértice.
- Vila, J. L. (2001). *Tecnología farmacéutica: aspectos fundamentales de los sistemas farmacéuticos y operaciones básicas* (Vol. I). Madrid: Síntesis.
- Zarco, A., Mora, G., Pelcastre, B., Flores, M., & Bronfman, M. (2006). Aceptabilidad de los suplementos alimenticios del programa Oportunidades. *Salud pública de México*, 325-331.
- Bengoia Lecanda, J. M. (2003). Historia de la nutrición en salud pública. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 16(2), 85–96. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-07522003000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522003000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Caracciolo, F., Lombardi, A., Verneau, F., & Lombardi, P. (2016). BEYOND THE USE OF FOOD SUPPLEMENTS: AN EMPIRICAL ANALYSIS IN ITALY, 28, 15–25.
- Cortés, Misael; Chiralt, Amparo; Puente, L. (2005). Alimentos funcionales: una historia con mucho presente y futuro. Retrieved April 20, 2016, from [https://www.researchgate.net/profile/L\\_Diaz3/publication/260511523\\_ALIMENTOS\\_FUNCIONALES\\_UNA\\_HISTORIA\\_CON\\_MUCHO\\_PRESENTE\\_Y\\_FUTURO/links/0a85e53174e0e2bd95000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/L_Diaz3/publication/260511523_ALIMENTOS_FUNCIONALES_UNA_HISTORIA_CON_MUCHO_PRESENTE_Y_FUTURO/links/0a85e53174e0e2bd95000000.pdf)
- Jones, P. J. (2002). Clinical nutrition: 7. Functional foods--more than just nutrition. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal = Journal de l'Association Médicale Canadienne*, 166(12), 1555–63. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=113804&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Millán, D. P. (2015). Propuesta para la selección de excipientes en el diseño y desarrollo de una formulación en granulado a partir de polisacáridos utilizando la granulación vía seca como método alternativo y efectivo para su producción. Retrieved June 4, 2016, from [https://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/78070/1/propuesta\\_seleccion\\_excipientes.pdf](https://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78070/1/propuesta_seleccion_excipientes.pdf)
- Stratton, R. J., & Elia, M. (2007). A review of reviews: A new look at the evidence for oral nutritional supplements in clinical practice. *Clinical Nutrition, Supplement*, 2(1), 5–23. <http://doi.org/10.1016/j.clnu.2007.04.004>



## ANEXOS

### Anexo 1: Producto Chocohop



Figura 17. Producto comercial.

**Anexo 2: Fórmulas para la determinación del ángulo de reposo, las densidades aparente y compactada, índice de Hausner e índice de Carr, voluminosidad y porosidad**

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{r} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de reposo,  $h$  es la altura del cono formado y  $r$  es el radio del cono.

Para estas pruebas se parte de una masa constante para todas las muestras. El volumen inicial ( $V_o$ ) se usa para hallar la densidad aparente y el volumen final ( $V_f$ ) para hallar la densidad compactada, así:

$$\partial_{aparente} = masa/V_o \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$\partial_{compactada} = masa/V_f \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Para el índice de Hausner y de Carr, se calculó de la siguiente manera:

$$IH = \frac{\partial_{compactada}}{\partial_{aparente}} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

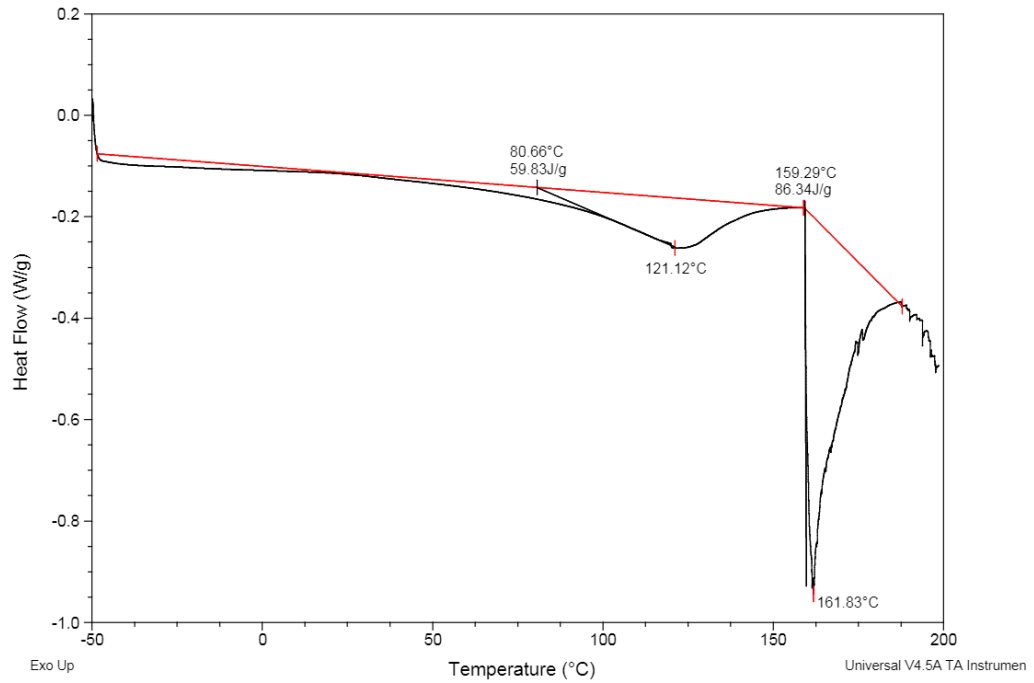
$$IC = \frac{\partial_{compactada} - \partial_{aparente}}{\partial_{compactada}} * 100 \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Finalmente, para el cálculo de la voluminosidad y la porosidad de los materiales en estudio, se realizó así:

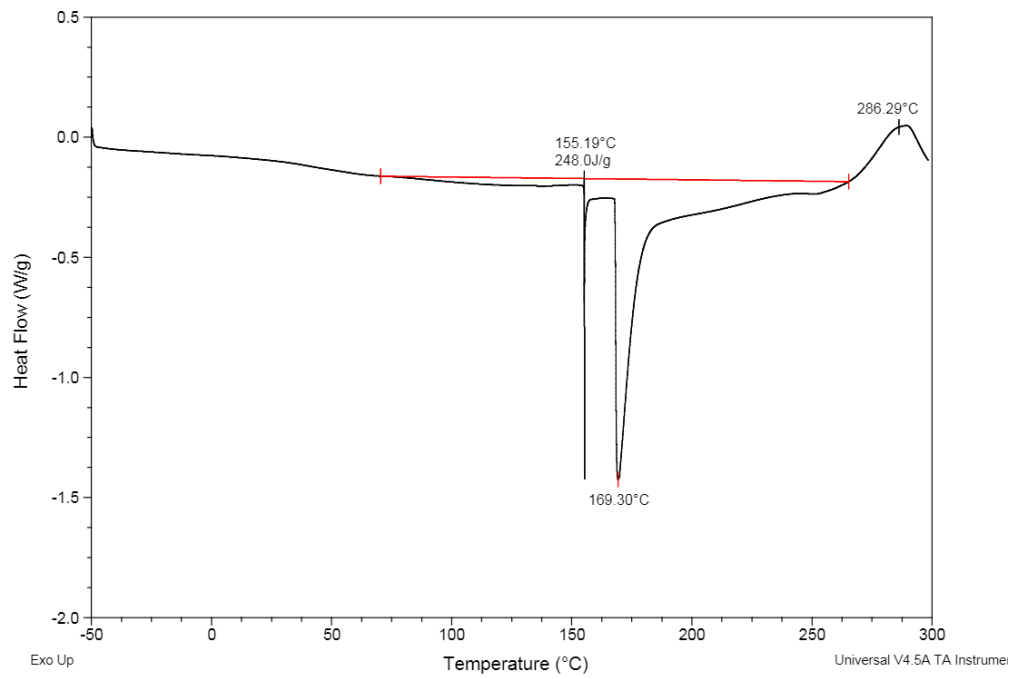
$$Voluminosidad = 1/\partial_{aparente} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$$Porosidad = \left(1 - \frac{\partial_{aparente}}{\partial_{compactada}}\right) * 100 \quad \text{(Ecuación 10)}$$

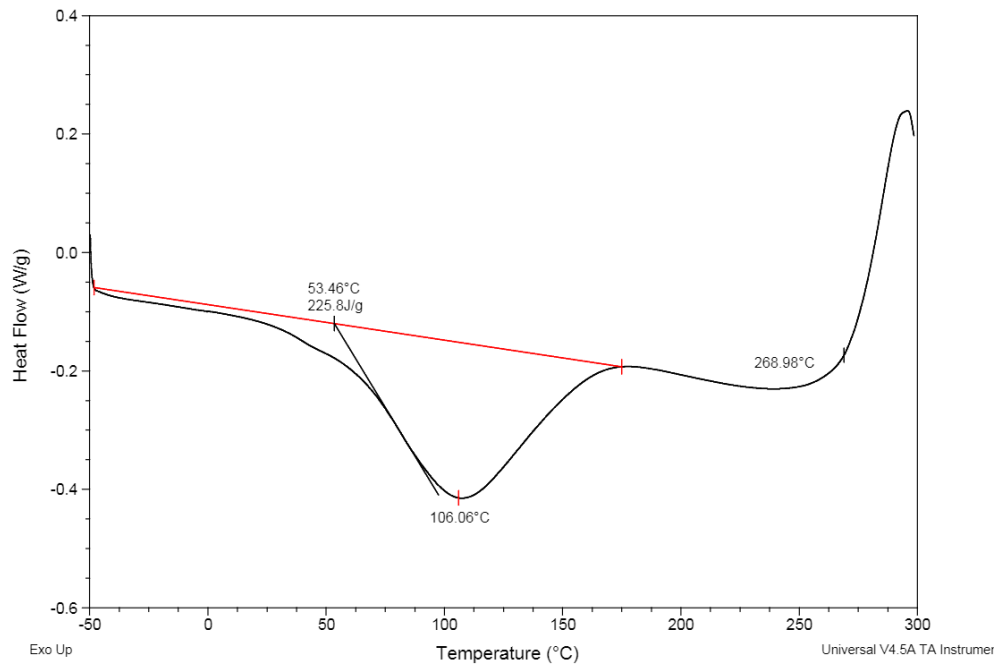
**Anexo 3: Termogramas de las materias primas y del producto comercial, obtenidas por DSC**



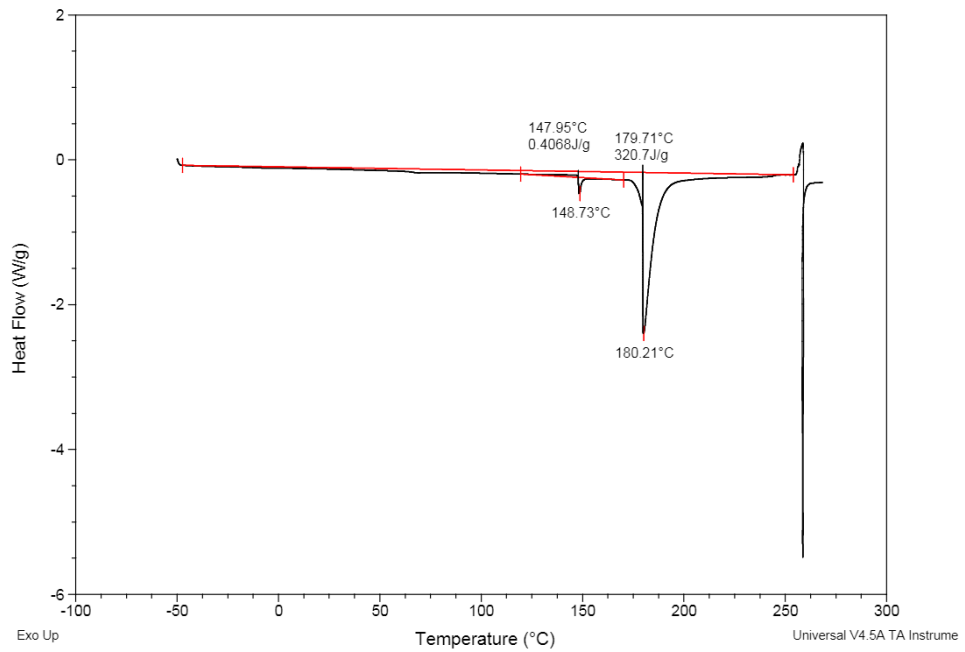
**Figura 18.** Termograma para el aroma.



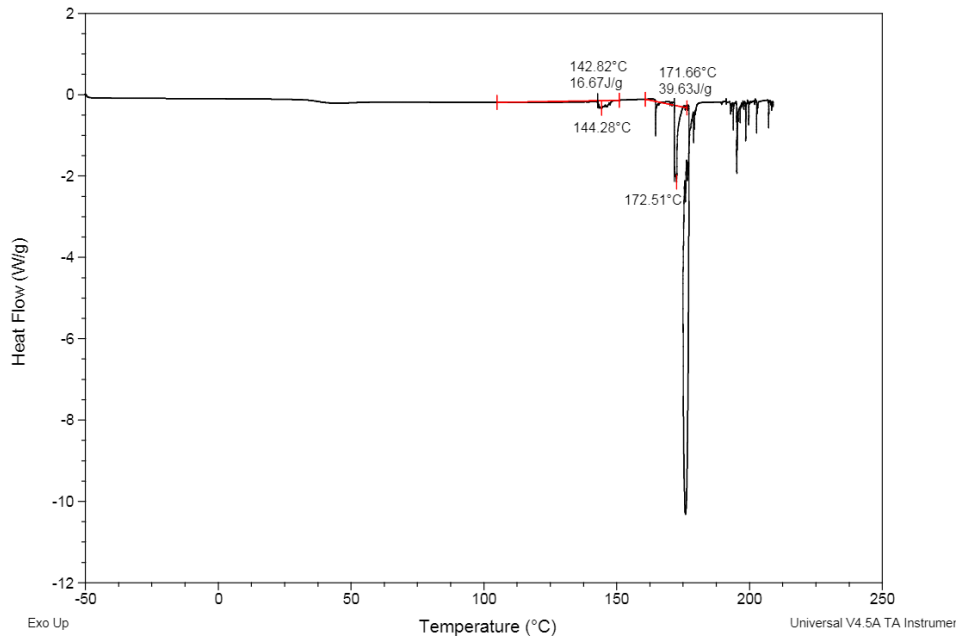
**Figura 19.** Termograma para el cereal claro.



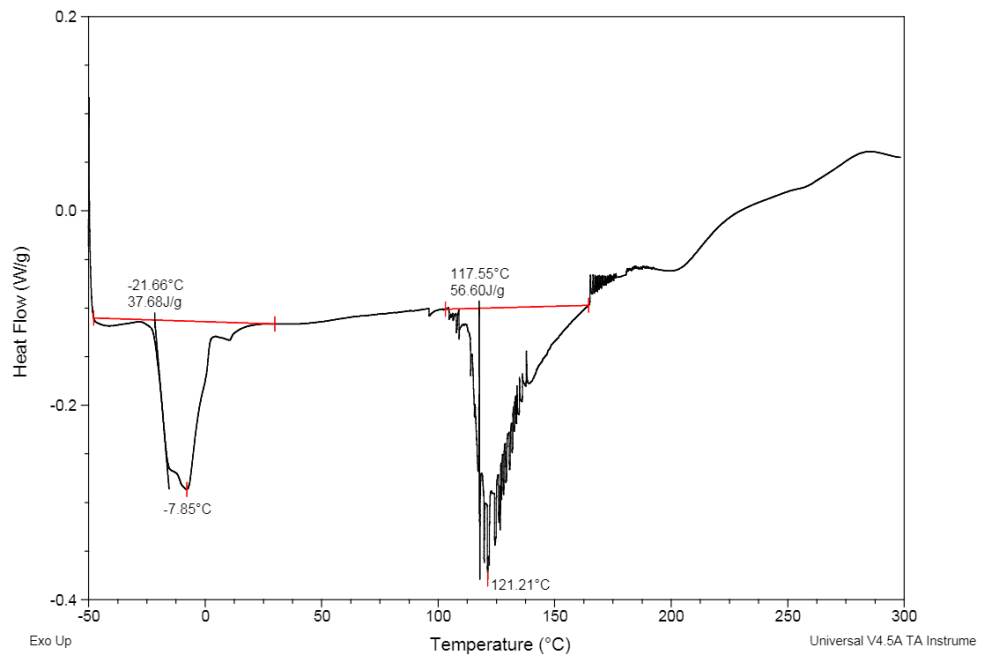
**Figura 20.** Termograma para el cereal oscuro.



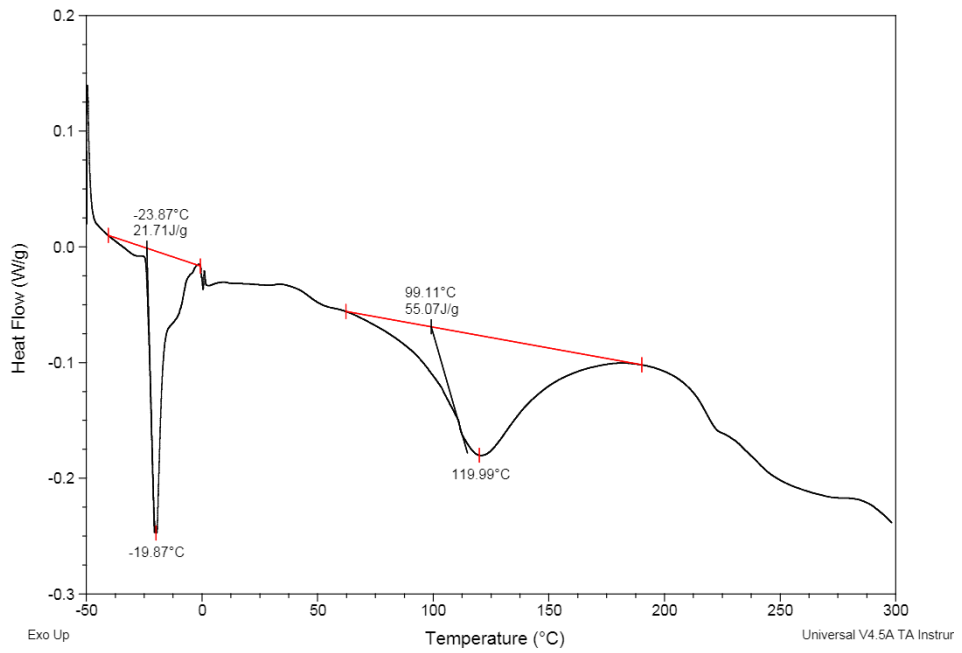
**Figura 21.** Termograma para el estabilizante.



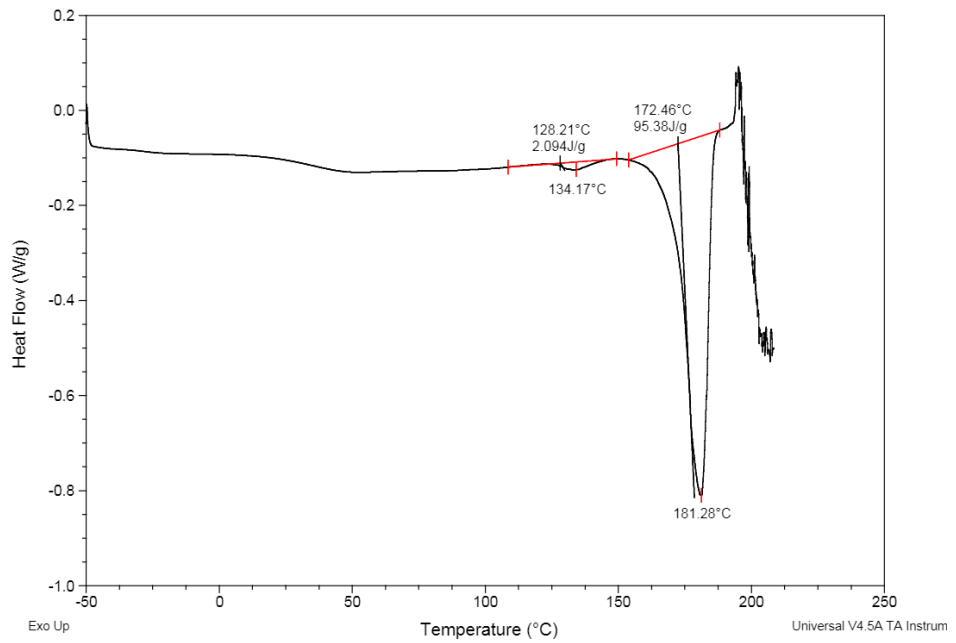
**Figura 22.** Termograma para el extracto de malta.



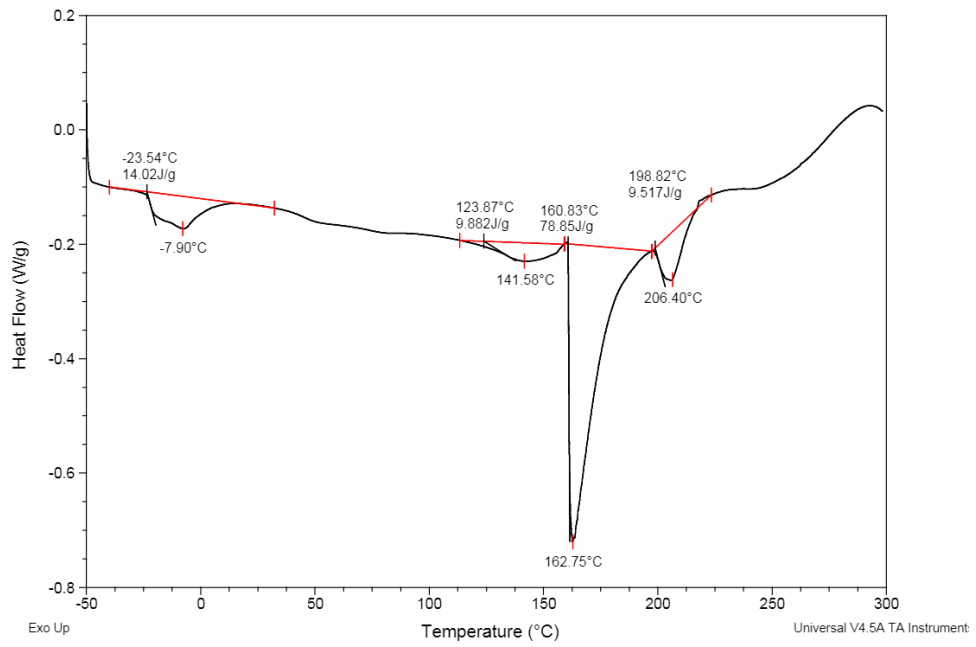
**Figura 23.** Termograma para las oleaginosas 1.



**Figura 24.** Termograma para las oleaginosas 2.



**Figura 25.** Termograma para la panela.



**Figura 26.** Termograma para el producto "Chocohop".