

**OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES GRANULOMÉTRICAS Y DE  
DISPERSION DEL PRODUCTO EN POLVO FUNCIONAL Y COMERCIAL  
“CHOCOHOP”**

**ING. ANYELA GUTIÉRREZ DÍAZ**

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y DERIVADOS  
SANTIAGO DE CALI  
2016**

**OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES GRANULOMÉTRICAS Y DE  
DISPERSION DEL PRODUCTO EN POLVO FUNCIONAL Y COMERCIAL  
“CHOCOHOP”**

**ING. ANYELA GUTIÉRREZ DÍAZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
MAGISTER EN FORMULACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y DERIVADOS**

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

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y DERIVADOS  
SANTIAGO DE CALI  
2016**

**FIRMAS AVAL DEL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO  
DE GRADO II**

**Firma Aval del Asesor:**

---

CONSTAIN HUGO SALAMANCA

**Firma del estudiante:**

---

ANYELA GUTIERREZ DIAZ

## AGRADECIMIENTOS

Al terminar esta etapa de mi vida quisiera agradecer:

A mi hija, que por más pequeña que sea, se ha convertido en el motor de mi vida y la ilusión de seguir adelante por darle una educación maravillosa y ayudarle igualmente en su camino académico.

A mi esposo, por ayudarme en la decisión de emprender mi maestría y apoyarme en mis objetivos académicos.

A mis padres, porque siempre han sido mi ejemplo de esfuerzo y dedicación en todas las labores emprendidas.

A un gran maestro Constain Salamanca, quien se interesó mucho en mi trabajo de grado, acompañándome y apoyándome durante todo el proyecto.

A mi compañera de laboratorio Juliana Gómez Arciniegas, por su ayuda en los experimentos.

A Cicoltec por su grandioso acompañamiento en la realización de una de las fases de experimentación del proyecto, con la prestación del servicio de sus laboratorios y equipos idóneos para la caracterización de las materias primas.

A mis compañeros, amigos y colegas por la motivación y la incondicionalidad.

Y a todos los que en su momento estuvieron junto a mí.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN DEL TRABAJO</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>13</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>15</b>
<b>2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>15</b>
2.2.1 Nutrición Actual	16
<b>2.3 MARCO TEÓRICO</b>	<b>18</b>
2.3.1 Alimentos Funcionales	18
2.3.2 Diseño y formulación de alimentos funcionales	19
2.3.3 Materias primas sólidas y sus características físico químicas	20
2.3.4 Caracterización térmica mediante Calorimetría Diferencial de barrido DSC	22
2.3.5 Propiedades Granulométricas	22
2.3.6 Propiedades Termodinámicas de Superficie	24
2.3.7 Agentes Humectantes	28
2.3.8 Tiempo de Humectabilidad	30
2.3.9 Chocohop	30
<b>2.4 OBJETIVOS</b>	<b>31</b>
2.4.1. General	31
2.4.2. Específicos	31
<b>2.5 METODOLOGÍA PROPUESTA</b>	<b>32</b>
2.5.1 Materiales	32
2.5.2 Caracterización térmica para cada una de las materias primas del producto	32
2.5.3 Caracterización Granulométrica	32
2.5.4 Proceso de Pre humectación	34
2.5.5 Determinación de las Propiedades de Superficie	35
2.5.6 Tiempo de Humectabilidad	35
2.5.7. Análisis Estadístico	36
<b>2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>37</b>
2.6.1 Caracterización térmica para cada materia prima del producto	37
2.6.2 Caracterización granulométrica	39

<b>2.6.3</b>	Mediciones del tamaño de partícula _____	<b>44</b>
2.6.4	Morfología _____	46
2.6.5	Propiedades termodinámicas de superficie _____	48
2.6.6	Tiempo de humectabilidad _____	59
2.6.7	Evaluación cualitativa de la selección de excipientes para Optimización de la Formulación _	63
<b>2.7</b>	<b>CONCLUSIONES</b> _____	<b>65</b>
<b>2.8</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> _____	<b>66</b>
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAS</b> _____	<b>67</b>
<b>ANEXOS</b>	_____	<b>74</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ingredientes funcionales junto con su posible efecto sobre la salud y ejemplos de alimentos convencionales donde se encuentran de forma natural .....	19
Tabla 2. Clasificación de propiedades de flujo según el índice de Hausner .....	23
Tabla 3. Clasificación de propiedades de flujo según el índice de Carr .....	24
Tabla 4. Registro de datos de ángulo de reposo y velocidad de deslizamiento de las materias primas y del producto comercial. ....	42
Tabla 5. Índices de Carr y Hausner de las materias primas y del producto comercial.....	43
Tabla 6. Humedad del producto comercial y cada una de su materias primas.....	44
Tabla 7. Distribución de tamaño de partícula para materias primas y producto comercial .	45
Tabla 8. Angulo de contacto para las materias primas y el producto comercial .....	48
Tabla 9. Angulo de contacto para cereal claro y cereal oscuro, frente a tres humectantes a tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura, etilenglicol e isopropanol. ....	49
Tabla 10. Angulo de contacto para oleaginosas 1 y 2, frente a tres humectantes a tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura, etilenglicol e isopropanol.....	50
Tabla 11. Valores de trabajo de adhesión, para tabletas de cereal claro y cereal oscuro, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura ....	54
Tabla 12. Valores de trabajo de adhesión, para tabletas de oleaginosas 1 y oleaginosas 2, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura ....	55
Tabla 13. Valores de energía libre superficial total y sus contribuciones polar y dispersiva, para tabletas de cereal oscuro y cereal claro, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura, etilenglicol e isopropanol.....	57
Tabla 14. Valores de energía libre superficial total y sus contribuciones polar y dispersiva, para tabletas de oleaginosas 1 y oleaginosas 2, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura, etilenglicol e isopropanol.....	58

Tabla 15. Tiempo de humectación para tabletas de cereal claro y cereal oscuro, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura .....	59
Tabla 16. Tiempo de humectación para tabletas de oleaginosas 1 y oleaginosas 2, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura .....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Montaje para medición de ángulo de reposo.....	23
Figura 2. Esquema representando los ángulos de contacto de una superficie hidrofóbica e hidrofílica y las distintas propiedades de los mismos .....	26
Figura 3. Molécula de Lecitina .....	28
Figura 4. Estructura Química de la Glicerina .....	29
Figura 5. Formula Estructural del Polietileglicol .....	29
Figura 6. Logotipo del Producto Chocohop .....	30
Figura 7. Malvern Mastersizer 3000. Fotografía obtenida, publicada y donada por Cocoltec. ....	34
Figura 8. Microscopio electrónico de barrido Phenom ProX SEM EDX. Fotografía obtenida, publicada y donada por Cocoltec. ....	34
Figura 9. Equipo de medición de ángulo de contacto Dathaphysics Instruments OCA15EC. Fotografía obtenida, publicada y donada por Universidad Icesi. ....	36
Figura 10. Distribución del tamaño de partícula de las materias primas del producto comercial .....	39
Figura 11. Distribución del tamaño de partícula del Producto comercial .....	40
Figura 12. Imágenes SEM para el producto comercial .....	46
Figura 13. Imágenes SEM para las materias primas solidas estudiadas: A). cereal claro, b). cereal oscuro, c) oleaginosas 1, d) oleaginosas 2, e). endulzante, f). extracto de malta y g).aroma.....	47
Figura 14. Comparativo del proceso de mezcla del producto comercial: (a) producto inicial, (b) producto reformulado.....	63
Figura 15. Comparativo del proceso de dispersión del producto comercial: (a) Producto inicial, (b) Producto reformulado .....	64

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Ficha Técnica Cereal Claro.....	74
Anexo 2 Ficha Técnica Cereal Oscuro .....	75
Anexo 3 Ficha técnica extracto de malta.....	76
Anexo 4 Ficha técnica estabilizante .....	77
Anexo 5 Termogramas de las materias primas obtenidas por DSC .....	80
Anexo 6 Distribución del tamaño de partícula para las materias primas: (a) cereal claro, (b) cereal oscuro, (c) oleaginosas 1 y (d) oleaginosas 2.....	83
Anexo 7 distribución del tamaño de partícula para las materias primas: (e) endulzante, (f) extracto de malta, (g) aroma 1 y (h) producto comercial. ....	84

## RESUMEN DEL TRABAJO

El presente trabajo gira en torno a una optimización de la formulación del producto en polvo funcional Chocohop, con el fin de mejorar sus propiedades de dispersión y presentarlo como una alternativa a la alimentación humana.

El producto y cada una de sus materias primas fueron evaluados a través de sus características granulométricas, mediante las medidas del ángulo de reposo, índice de Hausner, índice de Carr, y la distribución del tamaño de partícula. Además se realizó un análisis térmico, mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido, con el fin de establecer posibles interacciones entre ellas. Se encontró que las materias primas que desmejoran la dispersión del producto son cereal claro, cereal oscuro, oleaginosas 1 y oleaginosas 2; las cuales fueron sometidas a un proceso de pre humectación con lecitina de soja (0,2%, 0,8% y 1,5 % p/p), glicerina (3%, 6%, y 9% p/p) y polietilenglicol 400 (3%, 6%, y 9% p/p) como agentes humectantes. La humectabilidad de los polvos se midió mediante el tiempo de humectabilidad y propiedades termodinámicas de superficie, tales como el ángulo de contacto, trabajo de adhesión y un análisis de energía libre superficial, empleando los modelos de Young-Dupre y el modelo Owens-Wendt-Rabel-Kaelbe con tres solventes diferentes agua, etilenglicol e isopropanol. El proceso de pre humectación logró a través del uso de polietilenglicol 400 y lecitina de soja mayor humectabilidad y mejoraron la dispersabilidad del producto.

**Palabras clave:** Alimento funcional; solido pulverulento; análisis granulométrico; ángulo de contacto; energía libre superficial; tiempo de humectabilidad.

## ABSTRACT

The present work includes an optimization of the formulation of the functional powder product chocohop, with the purpose of improving its dispersión properties and present it as an alternative to human food.

The product and each of its raw materials were evaluated by their grain size characteristics, through measures of the angle of repose, Hausner index, Carr index, and the distribution of the particle. In addition, a thermal analysis was carried out using differential scanning calorimetry , in order to establish possible interactions between them. It was found that the raw materials that impair the dispersion of the product are light cereal, dark cereal, oleaginous 1 and oleaginous 2; (0.2%, 0.8% and 1.5% w / w), glycerol (3%, 6%, and 9% w / w) and Polyethylene glycol 400 (3%, 6%, and 9% w / w) as wetting agents. The wettability of the powders was measured by wettability time and surface thermodynamic properties, such as contact angle, adhesion work and a free surface energy analysis, using the Young-Dupre and Owens-Wendt-Rabel-Kaelbe models with three different solvent Water, Ethylene glycol and isopropanol. The pre-wetting process achieved through the use of polyethylene glycol 400 and soy lecithin increased wettability and improved product dispersibility.

**Key words:** Functional food; powdery solid; granulometric analysis; contact angle; surface free energy; wetting time.

## 1. INTRODUCCION

El interés por conocer la relación entre alimentación y salud se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Expertos en el tema, mencionan que la mejor manera de prevenir enfermedades y asegurar una buena condición física y mental es seguir una dieta sana, variada y equilibrada (1). Los nuevos estilos de vida han hecho que la sociedad busque mitigar las enfermedades a través de alimentos que se puedan consumir de manera rápida y eficiente y que cumplan con los requerimientos nutricionales del ser humano en las cantidades y calidad requerida. Como consecuencia de ello, hemos pasado del concepto de nutrición adecuada al de nutrición óptima, aquella que no solo aporta las necesidades energéticas y nutricionales básicas, sino que a la vez aporta beneficios fisiológicos adicionales.

La nutrición se define como el conjunto de fenómenos mediante los cuales se obtienen, utilizan y excretan las sustancias nutritivas. Estas sustancias son conocidas como nutrimentos que se definen como unidades funcionales mínimas que la célula utiliza para el metabolismo y que son provistas a través de la alimentación (2). En este sentido, han surgido ciencias cuyo objetivo es suministrar al organismo los nutrientes necesarios en función de la situación fisiológica, entre ellas se destaca la nutrición orto molecular. La nutrición orto molecular es una teoría nutricional a nivel celular y a nivel molecular que fue defendida por el científico Linus Pauling y médico canadiense Abram Hoffer (3). Al tomar en la cantidad necesaria los nutrientes, incluyendo hidratos de carbono, proteínas, grasas, vitaminas, minerales; cada célula del cuerpo humano se vuelve completamente funcional y auto-restaurativa, con lo cual se consigue la calidad ideal de vida, así como la longevidad (4). La alimentación orto molecular trata al individuo como un todo y donde los procesos de digestión se entrelazarán con todo el resto de acciones que se provocan en el cuerpo. De esta forma, las patologías serán tratadas de manera integral, donde los nutrientes jugarán un papel protagónico en el proceso de recuperación. El especialista Pauling (5) afirma que,

‘esta técnica estudia la manera óptima de entregar las moléculas correctas a las células del cuerpo: vitaminas, minerales, oligoelementos, proteínas, agua y oxígeno, son algunas de ellas’.

El desarrollo de investigación en esta materia para generar productos que cumplan con estas especificaciones ha ido avanzando en los últimos años; creándose los alimentos funcionales, aquellos que además de cumplir con su función nutricional en el cuerpo humano tienen un beneficio fisiológico extra, el cual es reducir el riesgo de padecer alguna enfermedad (6). Estos alimentos incluyen en su formulación vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales, aminoácidos, flavonoides, hierbas y factores alimenticios; sustancias muy valiosas y seguras para la prevención y tratamiento de enfermedades crónicas o graves asociados con la mortalidad, el malestar y la discapacidad (7). Los productos funcionales se encuentran en diferentes formas como líquidas, sólido pulverulentos, semisólido, entre otras; sin embargo, el consumidor desea encontrar formas rápidas y fáciles de ingerir con buenas características organolépticas como la consistencia, el sabor y la palatabilidad, con el fin de que estos formen parte de la dieta cotidiana (8). El diseño de este tipo de productos funcionales con dichos atributos, constituye un reto en formulación, puesto que por sus características químicas tan diversas, se crean problemas como pobre dispersión, inadecuada reconstitución en agua o algún vehículo líquido, además de vida útil corta debido al almacenamiento y transporte. Aspectos como el tamaño de partícula, la densidad aparente, la forma de las partículas y las propiedades termodinámicas de superficie, las cuales determinan la humectabilidad y la dispersabilidad, se hacen fundamentales para formular los alimentos funcionales presentados como sólidos pulverulentos (9).

El presente trabajo gira en torno a una optimización del proceso de obtención del producto en polvo funcional Chocohop, con el fin de mejorar sus propiedades de dispersión y presentarlo como una alternativa a la alimentación humana con miras al desarrollo de alimentos funcionales que van de la mano con el concepto de nutrición Orto molecular.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cada día las exigencias de los consumidores de alimentos se dirigen a la búsqueda de nuevos productos con propiedades que proporcionen, además de valor nutritivo, otros componentes con actividades fisiológicas que permitan un mejor estado de salud, a fin de reducir el riesgo de enfermedades. En busca de un equilibrio en este aspecto, surge la nutrición orto molecular, una terapia holística, que promueve que si un organismo dispone de todos los elementos nutricionales necesarios para llevar a cabo sus funciones correctamente, será capaz de desintoxicarse, regenerarse y establecer un óptimo estado de salud tanto físico como mental (7). Este enfoque se consigue a través del consumo de alimentos ricos en vitaminas, minerales, oligoelementos, aminoácidos, prebióticos, coenzimas, entre otros, que ofrecen un papel activo en el cuidado de pacientes con algunas enfermedades comunes como el Cáncer (10). Sin embargo, el consumidor no solo busca salud, además requiere placer, a través de sabor, textura aspecto visual agradable; rapidez, es decir, que sea de fácil preparación e identidad (11).

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, a los cuales se les conoce como alimentos funcionales (12). En este contexto surge Chocohop, una bebida en polvo, a base de cereales y oleaginosas integrales, el cual se muestra como una opción nutritiva, saludable y, fácil de implementar en cualquier momento, como sustituto de productos convencionales como el café y el chocolate de mesa. No obstante, este producto es una mezcla multicomponente, con compuestos de naturaleza hidrofóbica, que desmejoran las características visuales y de palatabilidad que busca el consumidor actual, evidenciado en una pobre dispersabilidad y formación de agregados. Con este estudio se busca mejorar esos atributos del producto, lo que se convierte en un reto de reformulación para que este producto se presente como una alternativa altamente comercializable.

## 2.2 ESTADO DEL ARTE

### 2.2.1 Nutrición actual

El deseo de mantener una alimentación saludable se ha mantenido en la mente del consumidor. Sin embargo, lo que éste entiende por alimentación saludable se ha modificado a medida que se ha ido aprendiendo (13). Los mercados globales influyen en cómo, por qué y dónde compramos y consumimos productos, el consumidor intenta mantenerse al día (14), profundizando en conceptos como alimentación y nutrición.

En el ámbito de la nutriología iberoamericana actualmente se suele hacer una clara distinción entre alimentación y nutrición: la primera se reserva a la acción de alimentar (proveer sustento) y por la segunda se entiende el conjunto de procesos subsecuentes, finamente entrelazados y regulados, que comienzan con la alimentación y continúan de manera casi automática con la digestión, la absorción intestinal de nutrientes, la distribución a todo el organismo, la asimilación y el metabolismo por cada célula y la excreción de los desechos, lo cual surgió como alimentación orto molecular (15), la cual se enfoca en proveer al cuerpo las moléculas correctas a través de una dieta, donde se incorporan los alimentos correctos en sus cantidades adecuadas, permitiendo que el funcionamiento celular sea el apropiado para el organismo (16). Haciendo frente a esta necesidad de la población, cada vez es mayor la inversión de las empresas en innovación y desarrollo para la producción de alimentos con características que cumplan con los requerimientos de la nutrición orto molecular, permitiendo a los consumidores establecer una alimentación que contribuya a su bienestar. En este contexto, surgen los alimentos funcionales aquellos que, con independencia de aportar nutrientes, han demostrado científicamente que afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporcionan un mejor estado de salud (8). A nivel mundial los alimentos funcionales han tomado forma en los segmentos de lácteos en un 48% y de bebidas en un

22%. El consumidor se ve atraído por un portador que sea líquido, ya que es una matriz rápida y fácil para ingerir (17). Colombia no es ajena a ello y, en busca de soluciones en alimentación, se suma al desarrollo de productos de carácter orto molecular y funcional, aprovechando su gran diversidad de material biológico. Empresas colombianas de lácteos han invertido tiempo y dinero para ser las pioneras en el territorio nacional con alimentos benéficos para la salud (18).

La inclusión de los alimentos funcionales en Colombia surge a partir de la resolución 11488 del Ministerio de Salud, la cual, buscando mejorar el estado de salud de la población, introdujeron los alimentos aptos para diabéticos y la mejora nutritiva de los productos para los niños. Colombia cuenta con un sin número de posibilidades para la generación de alimentos funcionales innovadores, para ello se debe tener claridad sobre las barreras, oportunidades y responsabilidades por afrontar para que en un futuro cercano, la canasta básica, además de satisfacer necesidades fisiológicas, mejore también el estado de salud (12). Dentro de las barreras se tienen: Falta mayor conocimiento sobre ingredientes funcionales, su caracterización química y física, sus usos, ventajas, y dificultades tecnológicas para su obtención y procesamiento, falta de métodos de análisis en laboratorios certificados, para medir la estabilidad e interacción de los nutrientes en el alimento y para demostrar que efectivamente el ingrediente funcional es biodisponible. Además, deben propender por ser un alimento, mas no un complemento, tener un buen sabor, una apariencia deseable y agradable, una forma de presentación y administración convencional, lo cual se consigue a través de la consideración de aspectos físicos y químicos como la dispersabilidad y distribución homogénea del producto, selección del ingrediente o los ingredientes funcionales, facilidad y continuidad para producirlos (19).

## 2.3 MARCO TEÓRICO

### 2.3.1 Alimentos funcionales

El concepto más aceptado de alimento funcional es el del documento de consenso Functional Food Science in Europa (FUFOSE) elaborado por el “Internacional Life Science Institute (ILSI)”: “un alimento puede considerarse funcional cuando se demuestra adecuadamente que, además de sus efectos nutritivos, afecta beneficiosamente a una o más funciones del organismo de forma que mejora su estado de salud o bienestar o reduce el riesgo de enfermedad” (20).

Para efectos de este trabajo, el alimento funcional es aquél que se destaca por su composición química y nutricional, independientemente del grado de procesamiento. Si se toma en cuenta las propiedades que caracterizan a los alimentos funcionales, entonces la mayoría de los alimentos naturales son funcionales, ya que son fuente de sustancias esenciales para el organismo (21). La Tabla 1, muestra los algunos ejemplos de los ingredientes funcionales más importantes y reconocidos a nivel mundial.

Al hablar de composición química, es importante tomar en consideración que un solo alimento funcional puede reunir varios componentes nutricionales y no nutricionales; de las características químicas se derivan también el atractivo sensorial, y son el origen del desarrollo, durante y después del procesado del alimento, de cambios tanto convenientes como indeseables. Además la interacción de los constituyentes en el alimento, interacción propiciada o acentuada por las condiciones de procesado, emergen las características, tanto organolépticas como nutricionales, adecuadas para satisfacer la demanda del consumidor pero también cambios negativos que el diseñador y formulador de este tipo de producto debe tener en cuenta.

Tabla 1. Ingredientes funcionales junto con su posible efecto sobre la salud y ejemplos de alimentos convencionales donde se encuentran de forma natural (22).

<b>Ingredientes funcionales</b>	<b>Posible efecto sobre la salud</b>	<b>Alimento convencional en el que se encuentra de forma natural</b>
Flavonoides (procianidinas)	Reducen el estrés oxidativo en el LDL-colesterol	Chocolate
Catequinas	Reducen el riesgo de padecer cáncer	Té verde
Licopeno	Reduce el riesgo de padecer cáncer	Tomate
Compuestos polifenólicos	Reducen el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares	Vino tinto
Ácidos grasos (n-3)	Reducen el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares	Pescado
Probióticos	Mejoran la función del tracto intestinal y la función inmune	Productos lácteos fermentados
Glucosinolatos, indoles	Reducen el riesgo de padecer ciertos tipos de cánceres	Crucíferas
Ácido linoleico conjugado (CLA)	Reduce el riesgo de padecer cáncer de mama	Carne de pavo, cordero, vaca, y lácteos
Proantocianidinas	Reducen las infecciones del tracto urinario	Zumo de arándanos
Esteroles y esteres de estanol	Reducen el colesterol total y el LDL-colesterol	Algas
Fibra soluble	Reduce el colesterol total y el LDL-colesterol	Cereales integrales
Compuestos azufrados	Reducen el colesterol total y el LDL-colesterol	Ajo

### 2.3.2 Diseño y formulación de alimentos funcionales

En el desarrollo de alimentos funcionales los retos más importantes que deben asumir los formuladores de este tipo de productos son quizá la obtención de los ingredientes funcionales y/o ingredientes aptos, el desarrollo del alimento funcional y la implementación de la estrategia de validación de funcionalidades del alimento. La etapa de obtención de los ingredientes funcionales y/o ingredientes aptos para el consumo, conlleva la selección adecuada de las materias primas, para conseguir la funcionalidad deseada, además de la transformación de ingredientes para su adecuación y que puedan hacer parte integral del proceso, la caracterización y evaluación de esos ingredientes a nivel analítico, tecnológico, sensorial, de estabilidad y seguridad; además de la estandarización de los ingredientes y evaluación de la variabilidad entre lotes. En este entorno, las empresas se han enfocado en

el desarrollo de bebidas con opciones naturales y/o funcionales como la mejor alternativa para exportarlas como productos terminados en polvo o bebidas funcionales de fácil reconstitución, desafío que requiere un desarrollo y comercialización de producto que involucre mayores recursos, conocimiento en distintas áreas y alto grado de complejidad en general (23).

### 2.3.3 Materias primas sólidas y sus características físico químicas

En este contexto se han desarrollado productos instantáneos, aquellos que requieren muy poco esfuerzo para reconstituirse (24), de fácil consumo y se dispersan en líquidos acuosos (25). Las dispersiones son un tipo de mezclas heterogéneas en las cuales una de las fases (fase dispersa) está finamente dividida y distribuida en la otra (fase continua o dispersante). Si las partículas dispersas son muy pequeñas y no pueden ser separadas por filtración, la dispersión se llama coloidal mientras que si las partículas son de mayor tamaño y sí pueden separarse por filtración o decantación, la dispersión es grosera. Con el tiempo, las dispersiones groseras tienden a separarse por efecto de la gravedad: las partículas dispersas sedimentan si tienen mayor densidad que la fase continua o flotan si tienen menor densidad. Cuanto menor es el tamaño de las partículas dispersas, mayor es el tiempo que tardan en separarse (26). También se pueden dar procesos de aglomeración entre partículas y es importante tener un conocimiento fundamental de las fuerzas entre las partículas sólidas o los mecanismos de unión que están involucrados en el proceso de dispersión tanto físico como químico. Las fuerzas que causan que las partículas permanezcan juntas son los puentes sólidos, puentes líquidos, las fuerzas de atracción entre las partículas, y los mecanismos de entrecruzamiento (9). Formas de puente sólido como resultado de la sinterización, difusión sólida, condensación o reacción química. El puente líquido resulta de la presencia de un líquido a granel entre partículas individuales. Una vez que se establece un puente líquido, cualquier evaporación de este o cambio de las interfaces líquido-gas, aumenta las fuerzas que mantienen las partículas que se acercan más estrechamente. Las

fuerzas de atracción entre partículas pueden ser electrostáticas o fuerzas de Van der Waals (fuerzas de atracción de corto alcance entre superficies sólidas). Fuerzas electrostáticas surgen a través de la carga por contacto con partículas cargadas o fricción. Las fuerzas de Van der Waals surgen desde el movimiento de electrones dentro de un átomo, que sobresale más allá de la superficie de una partícula. El mecanismo de entrecruzamiento se produce en aglomerados formados por enclavamiento de partículas y sólo si éstos son fibrosos o partículas en forma de placa (27).

#### *2.3.3.1 Mecanismo de dispersión heterogénea*

El proceso de dispersión heterogéneo de un polvo se divide en 4 fases, y el comportamiento de sus propiedades físicas conforma el concepto de propiedades instantáneas. En la primera etapa conocida como remojo o humedecimiento, el líquido penetra dentro de los poros de las partículas de polvo; esta propiedad depende en gran medida de las propiedades granulométricas del material sólido. Las partículas pequeñas tienen un valor grande de área superficial específica (es decir, la relación de área de superficie a masa) y no puede ser humedecido de forma individual. El aumento de tamaño de las partículas y / o partículas aglomerantes pueden reducir la incidencia de la formación de grumos (28). En la segunda, denominada hundimiento o sumergencia, las partículas se sumergen debajo de la superficie del líquido (29). La tercera etapa es la dispersión, describe la facilidad con la que el polvo puede ser distribuido como uno solo sobre la superficie y en todo el grueso del agua de reconstitución, y en la etapa final denominada solubilidad, las partículas forman la solución si son solubles en el líquido, o permanecen suspendidas (30). La secuencia durante este proceso de reconstitución de un polvo y la facilidad para que ocurra el proceso, depende del producto. Para evaluar la humectación de una superficie sólida por un líquido se deben realizar determinaciones de las propiedades termodinámicas de superficie.

### 2.3.4 Caracterización térmica mediante calorimetría diferencial de barrido DSC

La calorimetría diferencial de barrido, o DSC, es una técnica experimental dinámica que nos permite determinar la cantidad de calor que absorbe o libera una sustancia, cuando es mantenida a temperatura constante, durante un tiempo determinado (31). Esta caracterización permite revisar interacciones, posibles contaminantes o impurezas, grados de cristalinidad y polimorfismo, además de interacciones entre las materias primas, para entrar a revisar compatibilidades o incompatibilidades.

### 2.3.5 Propiedades granulométricas

Estas propiedades son ampliamente estudiadas para materiales sólidos particulados, se relacionan con el flujo y la compactación y con ello, son fundamentales conocer cuando se pretenden diseñar formulaciones correspondientes a mezclas sólidas. Dos parámetros ampliamente conocidos corresponden al ángulo de reposo y al índice de Carr (32).

#### 2.3.5.1 Ángulo de reposo

El ángulo de reposo corresponde a una técnica muy sencilla y que da información acerca de las fuerzas interparticulares (cohesividad) del sistema sólido pulverulento, además de las características de fluidez (33). Se determina por medio del ángulo formado entre la superficie lateral del cono con la superficie (horizontal) cuando es dejado caer a una altura fija desde un embudo, tal como se muestra en la Figura 1. Las mejores propiedades de flujo corresponden a valores pequeños de ángulos de reposo, las fuerzas inter-particulares no impiden el desplazamiento entre las capas adyacentes de las partículas. Para calcular la magnitud del ángulo de reposo se emplea la siguiente ecuación (34):

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h}{r} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde, h es la altura del cono y r el radio de la base.

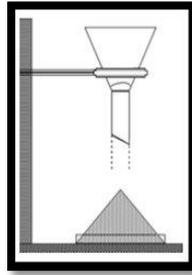


Figura 1. Montaje para medición de ángulo de reposo

### 2.3.5.2 Índice de Hausner

Es un valor relacionado con la fluidez de un polvo pero que toma en cuenta la densidad aparente  $\rho_g$  y la densidad apisonada  $\rho_{ap}$ . Se describe a través de la ecuación 2 (35):

$$IH = \frac{\rho_{ap}}{\rho_g} \quad \text{Ec. 2}$$

Tabla 2. Clasificación de propiedades de flujo según el índice de Hausner (36)

Índice de Hausner	Características de flujo
1,09 – 1,10	Excelente
1,10 – 1,14	Muy bueno
1,14 – 1,19	Bueno
1,19 – 1,25	Regular
> 1,25	Pobre

### 2.3.5.3 Índice de Carr

Este corresponde a un parámetro que brinda información sobre la capacidad del sólido pulverulento para disminuir su volumen, dando información sobre el grado de empaquetamiento que puede tener y con ello, sobre la facilidad para ser comprimido posteriormente. Este parámetro se relaciona por medio de la siguiente ecuación 3 (37):

$$\%C = \frac{V_i - V_f}{V_f} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde, %C corresponde al índice de Carr o grado de compactibilidad, mientras que  $V_i$ , y  $V_f$  son los volúmenes inicial y final del material sólido, respectivamente.

Tabla 3. Clasificación de propiedades de flujo según el índice de Carr (36)

<b>Índice de Carr</b>	<b>Características de flujo</b>
5 – 15	Excelente
16 – 18	Bueno
18 – 25	Regular
25 – 33	Pobre
33 – 38	Muy pobre
> 40	Deficiente

Además, se pueden determinar otros parámetros tales como la voluminosidad  $V_0$  y porosidad ( $p$ ) del material, por medio de varias ecuaciones, definidas como:

Densidad global o aparente ( $p_g$ ): 
$$\rho_g = \frac{W_m}{V_i} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde  $W_m$  es el peso de la muestra en gramos y  $V_i$  es el volumen inicial.

Densidad apisonada ( $p_{ap}$ ): 
$$\rho_{ap} = \frac{W_m}{V_f} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde  $W_m$  es el peso de la muestra en gramos y  $V_f$  es el volumen final.

Voluminosidad ( $V_0$ ): 
$$V = \frac{1}{\rho_g} \quad \text{Ec. 6}$$

Porosidad ( $p$ ): 
$$p = \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_{ap}}\right) \times 100 \quad \text{Ec. 7}$$

Donde,  $p_g$  es la densidad global y  $p_{ap}$  la densidad apisonada.

### 2.3.6 Propiedades termodinámicas de superficie

#### 2.3.6.1 Angulo de contacto y fenómeno de humectabilidad

La humectabilidad se define como la facilidad que tiene el polvo de empaparse de un líquido por efecto de fuerzas capilares que controlan la velocidad de la etapa. Esta propiedad depende en gran parte del tamaño de las partículas; si son partículas grandes,

forman poros grandes; los cuales sin exceder la porosidad crítica, y con valores pequeños de ángulo de contacto entre la superficie del poro y la de penetración en el agua, también contribuyen a mejorar la humectabilidad del polvo (33). Este fenómeno conduce a una disminución de la energía libre de superficie, determinándose las fuerzas cohesivas de las moléculas del líquido entre ellas y las fuerzas adhesivas de las interacciones moleculares entre el líquido y el sólido. La medición del ángulo de contacto, el cual se refiere al ángulo formado entre la gota de agua depositada y la película, y los datos obtenidos, son indicadores directos de la capacidad de humectación de una superficie (38); también puede interpretarse como el grado de hidrofobicidad del material de contacto. Se considera que el término humectación significa la formación de una interfase líquido/sólido en lugar de la interfase inicial sólido/gas. Para materias primas sólidas alimentarias, la composición de su superficie desempeña un papel importante en el proceso de humectación. Una superficie en la cual la gota forma un ángulo de contacto mayor que  $90^\circ$ , es una superficie hidrofóbica; esta condición implica que la mojabilidad, adhesividad y la energía superficial del sólido son bajas. En cambio, si la superficie es hidrofílica, se observará un ángulo de contacto menor a  $90^\circ$  y tanto la mojabilidad, adhesividad como la energía superficial del sólido serán altas (Ver Figura 2) (39). Al expresar este fenómeno en términos de las tensiones de superficie e interface dadas por el sistema en equilibrio se obtiene:

$$\gamma_{LV} \cos \theta_c = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde  $\gamma_{SV}$  y  $\gamma_{LV}$  son las tensiones superficiales sólido-vapor y líquido-vapor, respectivamente;  $\gamma_{SL}$  representa la tensión interfacial sólido-líquido y  $\theta_c$  es el valor de la tangente dado por el ángulo de contacto formado por una gota del líquido y la superficie sólida en la zona de intersección de las fases vapor-sólido-líquido.

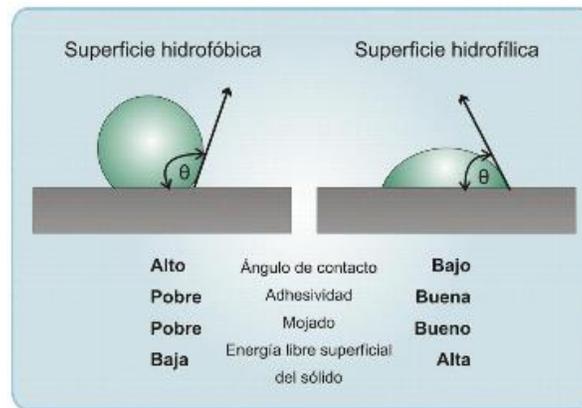


Figura 2. Esquema representando los ángulos de contacto de una superficie hidrofóbica e hidrofílica y las distintas propiedades de los mismos

### 2.3.6.2 Energía libre superficial

La energía libre superficial ( $G_s$ ) o SFE está relacionada directamente con las tensiones superficiales formadas en las zonas de las superficies líquido-vapor y sólido-vapor por medio de la expresión:

$$\gamma = \left( \frac{\partial G}{\partial A} \right)_{P,T} = G^s \quad \text{Ec. 9}$$

Donde,  $\gamma$  es la tensión superficial o cambio en la energía libre de Gibbs por unidad de área. Para ello, se han establecido varios modelos matemáticos que pueden ser empleados, donde destacamos los modelos de Young-Dupree (40) y OWRK (41) los cuales se describen a continuación:

**Modelo de Young.** El modelo de Young-Dupree corresponde a uno de los más simples y está relacionado con un balance entre las interacciones cohesivas y adhesivas, dadas entre la superficie del sólido y el líquido de referencia. Dependiendo del balance de estas dos interacciones, se obtienen diferentes valores de  $\theta_c$  y con ello, se puede caracterizar la manera como interacciona una superficie específica respecto a un líquido determinado. Este

fenómeno habitualmente es definido como trabajo de adhesión ( $W_{adh}$ ), el cual se encuentra definido en términos de las tensiones de superficie y de interfase como:

$$W_{adh} = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad \text{Ec. 10}$$

De esta manera, cuando se relaciona las ecuaciones (8) y (10), se obtiene el modelo de Young-Dupree definido como:

$$W_{adh} = \gamma_{LV}(\cos \theta_c + 1) \quad \text{Ec. 11}$$

Modelo Owens-Wendt-Rabel-Kaelble (OWRK): El modelo OWRK (41) hace posible determinar el tipo y grado de interacción que se presenta entre la superficie del sólido con el líquido de prueba, debido a que permite discriminar la SFE en términos de interacciones atractivas apolares o de tipo dispersivo (interacciones de Van der Waals) e interacciones atractivas de tipo polar (interacciones dipolo-dipolo y los enlaces de hidrógeno). Por tanto, este modelo es muy útil al momento de caracterizar la manera de interacción entre un líquido de referencia respecto a superficies sólidas que varían sus características de hidrofobicidad. El modelo OWRK se define a partir de una ecuación lineal del tipo  $Y = mX + b$ , tal como:

$$\frac{\gamma_{LV}(\cos \theta + 1)}{2(\gamma_{LV}^d)^{1/2}} = (\gamma_{SV}^p)^{1/2} \frac{(\gamma_{LV}^p)^{1/2}}{(\gamma_{LV}^d)^{1/2}} + (\gamma_{SV}^d)^{1/2} \quad \text{Ec. 12}$$

$$\text{Donde, } Y = \frac{\gamma_{LV}(\cos \theta + 1)}{2(\gamma_{LV}^d)^{1/2}}, m = (\gamma_{SV}^p)^{1/2}, X = \frac{(\gamma_{LV}^p)^{1/2}}{(\gamma_{LV}^d)^{1/2}}, b = (\gamma_{SV}^d)^{1/2} \quad \text{Ec. 13}$$

Para este modelo los superíndices  $p$  y  $d$  corresponden a las contribuciones de tipo dispersivo y polar, respectivamente. Así mismo,  $\theta_c$  es el ángulo de contacto,  $\gamma_{SV}$  es la energía libre superficial del líquido y  $\gamma_{LV}$  es la energía libre superficial del sólido. Cabe resaltar que para evaluar este modelo es necesario utilizar varios líquidos de prueba, donde se incrementa la polaridad de los mismos.

### 2.3.7 Agentes humectantes

La acción que ejerce un humectante es disminuir la tensión superficial de grupos químicos y mejorar la humectabilidad. Los cuales generan un aumento de las fuerzas de adhesión en relación con las fuerzas de cohesión entre las dos fases (42).

#### 2.3.7.1 Lecitina de Soja

Este compuesto es el modelo natural de todos los emulsionantes químicos /sintéticos y posee carácter predominante lipófilo actuando a bajas concentraciones entre el 0.2 y 1.5% (43). En función de las características individuales del material sólido pulverulento, el tamaño de partícula debe ser considerado. En la molécula de lecitina, el ácido fosfórico está unido a un grupo hidróxi primario de glicerina y a un grupo clorado como se muestra en la Figura 3. Las propiedades anfifílicas de la lecitina de soja, le permiten estar alineada en la interfaz de grasa / agua, con el cuerpo hidrófilo en la fase acuosa y la fracción lipófila en la fase grasa (44). El resultado final es un recubrimiento alrededor de la superficie de las partículas sólidas, aumentando su afinidad por el agua y disminuyendo el ángulo de contacto (45). La lecitina de soja crea aglomerados, lo cual incrementa en gran medida el tamaño de las partículas del material y crea sistemas con alta porosidad debido a la formación de estructuras huecas (46).

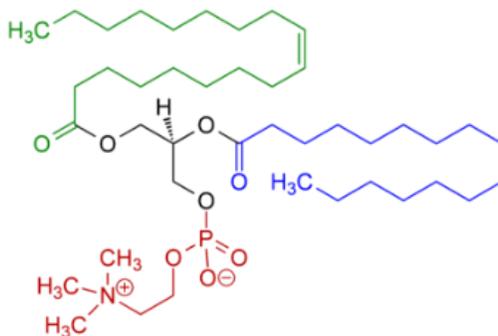


Figura 3. Molécula de Lecitina (47)

### 2.3.7.2 Glicerina

El 1, 2,3-propanotriol, glicerol o glicerina  $C_3H_8O_3$  es un alcohol con tres grupos hidroxilos (-OH). Además junto con los ácidos grasos, es uno de los componentes de lípidos como los triglicéridos y los fosfolípidos. Líquido viscoso, untuoso al tacto, incoloro, muy higroscópico (48). La glicerina tiene un efecto “pulidor” de las partículas tras fluir a sus intersticios, desplazar el aire y rodear y separar el material de forma que el agua pueda entrar y mojarlas. Su uso en alimentos llega a concentraciones del 8,5% p/p (49). Para la determinación de medidas de ángulo de contacto, es necesario esperar a su expansión total para llegar a una condición estática, debido a su alta viscosidad (50).

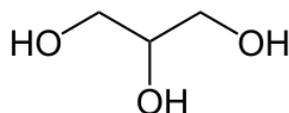


Figura 4. Estructura química de la glicerina (48)

### 2.3.7.3 Polietilenglicol PEG 400

El polietilenglicol (PEG) es un poliéter polimérico con grupos hidroxilos en sus extremos (51). La habilidad del PEG de ser soluble tanto en agua como en solventes orgánicos permite comportarse como agente humectante. Estudios han demostrado que este polímero une 2-3 moléculas de agua por unidad de óxido de etileno (51). Además tiene la capacidad de disminuir la tensión superficial y tensión interfacial entre el sólido y el líquido, con lo que la humectación se promueve por partida doble, debido a que se caracterizan por tener carácter hidrófilo y lipófilo; lo que le permite dispersar otras moléculas y sus cargas en medio disolvente.

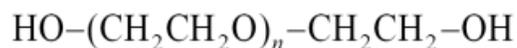


Figura 5. Formula estructural del polietilenglicol (52)

### 2.3.8 Tiempo de humectabilidad

Este método evalúa la humectabilidad mediante la medición del tiempo requerido para lograr la humectación completa del material sólido. Una cantidad conjunto del material solido se descarga suavemente sobre la superficie del agua, para sumergirse de forma espontánea sin agitación. Un material solido pulverulento se humedece en menos de 60 segundos, considerándose de fácil mojado, mientras que un material solido pulverulento que tarda más de 120 segundos se considera no humectable (53).

### 2.3.9 Chocohop

Es un producto elaborado a partir de la mezcla solida pulverulenta de oleaginosas, cereales y compuestos ortomoleculares, que garantizan una nutrición óptima, diseñada para contribuir al mantenimiento de un excelente estado de salud (Ver Figura 6).



Figura 6. Logotipo del producto Chocohop (54)

## 2.4 OBJETIVOS

### 2.4.1. General

Optimizar la propuesta de formulación de Chocohop, con base en la selección cualitativa y cuantitativa de excipientes que logren características de homodispersidad y uniformidad, para mejorar la percepción del consumidor.

### 2.4.2. Específicos

1. Caracterizar cada una de las materias primas de formulación el producto comercial mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC).
2. Evaluar la formulación y cada una de las materias primas mediante la caracterización de las propiedades granulométricas, para identificar materias primas con problemas de dispersión a partir de su caracterización morfológica de partículas, distribución de partícula, fluidez y compactación.
3. Determinar las propiedades termodinámicas de superficie para cada una de las materias primas.
4. Realizar procesos de pre humectación para las materias primas detectadas con problemas de dispersión utilizando diferentes agentes humectantes.
5. Seleccionar los excipientes a emplear en la propuesta de formulación con base en estudios de humectabilidad, con el fin de establecer la proporción respectiva de ellos.

## 2.5 METODOLOGÍA PROPUESTA

### 2.5.1 Materiales

Los materiales utilizados en la sección experimental fueron: mezcla de cereales tipo claro (Lote N° 151732005104) y oscuro (Lote N° 151832005105) ( Industria Química Andina y CIA S.A; Bogotá, Colombia); mezclas oleaginosas 1 y 2 ( Manitoba S.A; Cali, Colombia); panela granulada (Ingenio Río Paila; Florida, Colombia); extracto de malta M-100, (Maltexcoop Food, Santiago de Chile); aroma a chocolate ( GH fragancias y saborizantes; Cali, Colombia); y estabilizante ( Colorquímica S.A; Bogotá, 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 Caracterización térmica para cada una de las materias primas del producto

Se realizó un análisis térmico de cada una de las materias primas por calorimetría diferencial de barrido (DSC), usando un DSC modelo Q2000 (*TA Instruments*, New Castle, 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  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ .

### 2.5.3 Caracterización granulométrica

#### 2.5.3.1 Distribución de tamaño de partícula

Se empleó un tamizador Modelo RX-29 (*W.S Tyler*, Mentor, OH USA). Para ello, se utilizó la batería de tamices (No. Tamiz: 40, 60, 80, 100, 200 y 250) y se pesaron 100 g de cada uno de los componentes. Se organizaron los tamices de mayor a menor tamaño. La evaluación se realizó por triplicado.

### 2.5.3.2 *Ángulo de reposo*

Se pesaron 50 g de cada materia prima sólida y de la mezcla correspondiente. El embudo se ubicó a 15 cm de la superficie plana. Finalmente, se midió el radio y la altura del polvo que cayó sobre la superficie. La prueba fue realizada por triplicado.

### 2.5.3.3 *Índice de Carr e índice de Hausner*

Se ejecutó mediante un estudio de densidad aparente y compactada, utilizando un apisonador Tap Density Tester: Tap-2S (*Logan Instrument Corp.*, New Jersey, USA). Para ello, se pesaron 100 g de cada componente y se adicionaron en la probeta graduada del apisonador midiendo el volumen inicial y final después de 1250 golpeteos. Se determinaron los valores de % de compresibilidad o índice de Carr, densidad global, densidad apisonada.

### 2.5.3.4 *Determinación del porcentaje de humedad de cada materia prima*

Se realizó mediante el uso de una Termobalanza Mac 50/1/WH (*Radwag Instruments S.L.*; Madrid, España) hasta obtener peso constante, manejando una temperatura de 50°C.

### 2.5.3.5 *Mediciones del tamaño de partícula*

Un Mastersizer 3000 (*Malvern Instruments*; México DF) equipado con un láser de 4 mW Heene que opera a una longitud de onda de 632,8 nm se utilizó para medir el tamaño de partícula de cada materia prima sólida (ver Figura 7). Las muestras se diluyeron en 120 ml de agua destilada a  $25^{\circ}\text{C} \pm 2$  y agitadas a 1800 rpm. La cantidad apropiada de cada materia prima sólida se determinó al alcanzar el nivel ideal de obscuración entre el 2 y 8% ideal para el equipo.

### 2.5.3.6 *Microscopia electrónica de rastreo SEM-EDX*

Un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo SEM EDX (*Phenom-World*; Eindhoven, The Netherlands) se utilizó para obtener imágenes a 1,5 kV de cada materia prima sólida y del producto comercial (ver Figura 8). Las muestras se aplicaron en pequeñas cantidades en el soporte de cubierta con un carbono conductor.



Figura 7. Malvern Mastersizer 3000. Fotografía obtenida, publicada y donada por Cicoltec.

#### 2.5.4 Proceso de pre-humectación

Con las determinaciones anteriores, se determinaron las materias primas problema, que ocasionan dificultad en el proceso de dispersión del producto comercial. A estos materiales se les realizó un proceso de pre humectación con tres agentes humectantes: La Lecitina de Soja al 0,2%, 0,8% y 1,5% (p/p), Glicerina y PEG 400 al 3%, 6% y 9% (p/p). El proceso se efectuó adicionando el agente humectante en la proporción indicada al material sólido y mezclando en un mortero de porcelana, garantizando una buena distribución de este sobre el material sólido. Posteriormente, se procedió a efectuar todas las mediciones para evaluar la humectabilidad de los sólidos en ausencia (control) y en presencia de cada agente humectante en las concentraciones definidas.

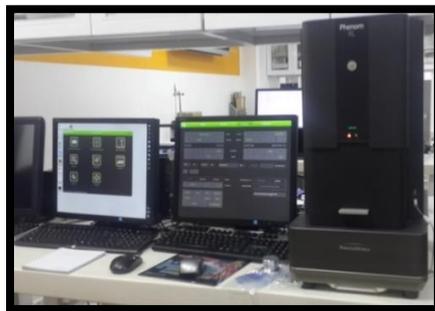


Figura 8. Microscopio electrónico de barrido Phenom ProX SEM EDX. Fotografía obtenida, publicada y donada por Cicoltec.

## 2.5.5 Determinación de las propiedades de superficie

### 2.5.5.1 Determinación del ángulo de contacto

Se elaboraron tabletas comprimidas de 1000 mg correspondiente al producto por medio de una tableteadora mono punzón (*Universidad Icesi*; Cali, Colombia) con fuerza de aplicación de 300 PSI por 10 segundos con punzón de  $\frac{3}{4}$ ". Cada una de estas tabletas fue dispuesta 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 OCA15EC (*Dathaphysics Instruments GmbH*; Filderstadt, Alemania) con controlador de software (SCA20 versión 4.5.14) (ver Figura 9). 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 líquidos de estudio se utilizó agua, etilenglicol e isopropanol.

### 2.5.5.2 Determinación de $W_{adh}$ y SFE

Para cada superficie de las tabletas elaboradas a partir de las materias primas, el trabajo de adhesión ( $W_{adh}$ ) fue determinado a partir del modelo de Young-Dupree (40) y para el cual se utilizó solo agua-ultra pura como líquido de referencia, mientras que la energía libre superficiales (SFE) fue determinada a partir del modelo OWRK (41) y para el cual se utilizaron tres líquidos de polaridad creciente correspondientes a isopropanol, etilenglicol y agua.

## 2.5.6 Tiempo de humectabilidad

En este estudio, se vierten 3 g de cada muestra en una probeta de 100 ml que contiene 100 ml de agua tipo 1 a 25 °C (53) . Todas las probetas se eligieron del mismo tamaño. El tiempo de humectación fue registrado por un temporizador y todas las mediciones se repitieron tres veces.

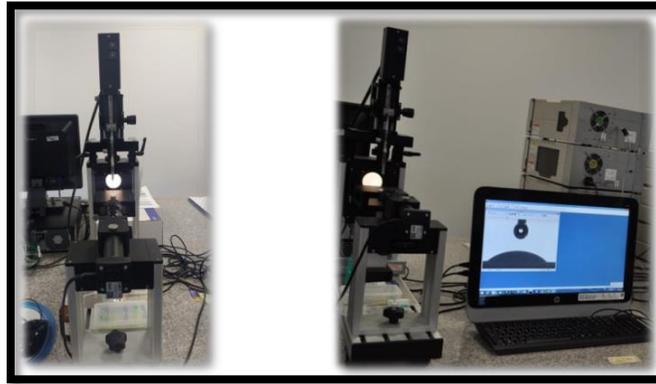


Figura 9. Equipo de medición de ángulo de contacto Dathaphysics Instruments OCA15EC.  
Fotografía obtenida, publicada y donada por Universidad Icesi.

#### 2.5.7. Análisis estadístico

Usando el software Minitab 17 (*Minitab Inc*; Pensilvania, USA), se aplicó un tratamiento estadístico con el fin de obtener información acerca del efecto de la interacción entre variables (excipientes) sobre la humectabilidad. Para esto, los datos arrojados por las pruebas que evaluaron la humectabilidad como el ángulo de contacto, tiempo de humectabilidad, trabajo de adhesión y energía libre superficial se sometieron a un análisis de varianza ANOVA de un factor. Para la ejecución del análisis de varianza es importante tener en cuenta las hipótesis y el criterio de decisión, ya que estos son los parámetros que permitirán llevar a cabo una correcta interpretación y posterior toma de decisiones. Posteriormente, se utiliza el método de comparaciones múltiples “Tukey”, con el objetivo de identificar el mejor resultado para cada uno de los análisis de humectabilidad y los resultados que cuentan con una diferencia significativa con respecto a los controles.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Las medias de las medias no difieren entre sí.

Hipótesis alterna ( $H_A$ ): Al menos una de las medias es diferente.

Criterio de decisión: Si  $F$  calculado  $>$   $F$  tabulado, entonces se rechaza la hipótesis nula.

## 2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.6.1 Caracterización térmica para cada materia prima del producto

Los termogramas que se presentan en el Anexo 5 corresponden a la caracterización térmica de cada una de las materias primas que componen el producto comercial, respecto del producto.

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 cereal oscuro, el cual corresponde a una cebada malteada según su descripción en ficha técnica (ver Anexo 2), se presenta una endotérmica a 106,06°C, la cual corresponde a la desnaturalización de proteínas presentes, debido a la ruptura de enlaces intramoleculares de hidrógeno, las cuales no se encuentran totalmente desnaturalizadas probablemente debido a su elevada estabilidad térmica. La desnaturalización para muestras de cebada malteada en otros estudios se han reportado entre los 100 y 130°C (55). La fracción soluble en alcohol, o sea la Hordeína, es la que prevalece cuando aumentan los porcentajes de proteína y representa la mayor parte de la proteína de reserva de este cereal (56).

Para el endulzante, el cual corresponde a la panela, su composición corresponde al 80% de sacarosa y entre 10% y 12% de fructosa y de glucosa. Así el termograma para esta materia prima muestra eventos térmicos de deshidratación, fusión y degradación, típicos de los azúcares que la componen (10). El termograma corresponde entonces a la Sacarosa, la cual muestra una señal de fusión endotérmica a 181,28°C, el cual es congruente con lo reportado por Kumar (10), lo cual indica la naturaleza cristalina de este compuesto. Para la Glucosa se encuentra una temperatura de transición vítrea a los 172,46°C, similar al termograma reportado en otros estudios (57); se registró en el termograma una señal de 134, 17°C, correspondiente a la fructosa.

Para las oleaginosas 1, se detectaron dos señales importantes, correspondientes a reacciones endotérmicas, las cuales corresponden a desnaturalización de grupos proteicos; esta materia prima presentó su degradación más allá de los 120 °C. A los 117,55°C, el cambio al estado desnaturalizado de la proteína es un fenómeno cooperativo que se acompaña de una importante absorción de calor. Según otros estudios la desnaturalización de proteínas de este tipo de oleaginosas, se presenta entre los 90°-100°C. El 90% de las proteínas de cacahuete son globulinas, cuyas fracciones principales son: arachina y conarachina; el termograma (ver Anexo 5) muestra una señal endotérmica en 117,55°C, que puede atribuirse a la desnaturalización térmica de arachina (58). Difiere el resultado de otros estudios (59), debido a la especie y concentración de la proteína.

En el caso de oleaginosas 2, se evidenciaron dos señales endotérmicas importantes, una a 119,9°C, correspondiente a la desnaturalización de grupos proteicos; lo cual corresponde a lo encontrado por otros autores, donde registraron una señal de temperatura para diferentes tipos de proteínas cerca de los 100°C (60). La señal a -19,87°C, corresponde a una fusión de ácidos mono insaturados, reportados por otros autores a temperaturas de -29,69°C (61). 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 caso del extracto de malta presentan una señal endotérmica correspondiente un cambio térmico a una temperatura de 144,28°C. A su vez, al aumentar más la temperatura se observa la fusión de los cristales a diferentes temperaturas: 172,51°C.

Para el aroma y el estabilizante, se observan dos señales endotérmicas. La primera señal para el aroma se encuentra a una temperatura de 121,12°C correspondiente a una transición térmica; y la segunda señal se encuentra a 161,83°C la cual corresponde al punto de fusión. Por otro lado, la primera señal del estabilizante se encuentra a 148,73°C correspondiente a una transición térmica; y la segunda señal se encuentra a 180,21°C correspondiente a la temperatura de fusión. Al verificar la comparación de la curva de cada materia prima de respecto del producto, se observa que para oleaginosas 2, el endulzante el estabilizante, las

señales si bien se muestran en el mismo sentido, (ver Anexo5), suceden a temperaturas diferentes, comparadas con la mezcla del producto, lo que evidencia posibles interacciones de estas materias primas cuando se somete al proceso de mezcla con el resto de excipientes. Para las demás materias primas se presenta las mismas señales en el termograma del producto evidenciando que no existen interacciones entre los excipientes de formulación, que pudieran afectar la estabilidad del producto, ya que se encuentran en estado sólido. Las temperaturas a las cuales se somete el producto para su almacenamiento y para su preparación se encuentran en el rango de los 25 a 60° C, por lo cual a estas temperaturas no se observan reacciones que puedan afectar la calidad nutricional del producto.

## 2.6.2 Caracterización granulométrica

### 2.6.2.1 Distribución de tamaño de partícula

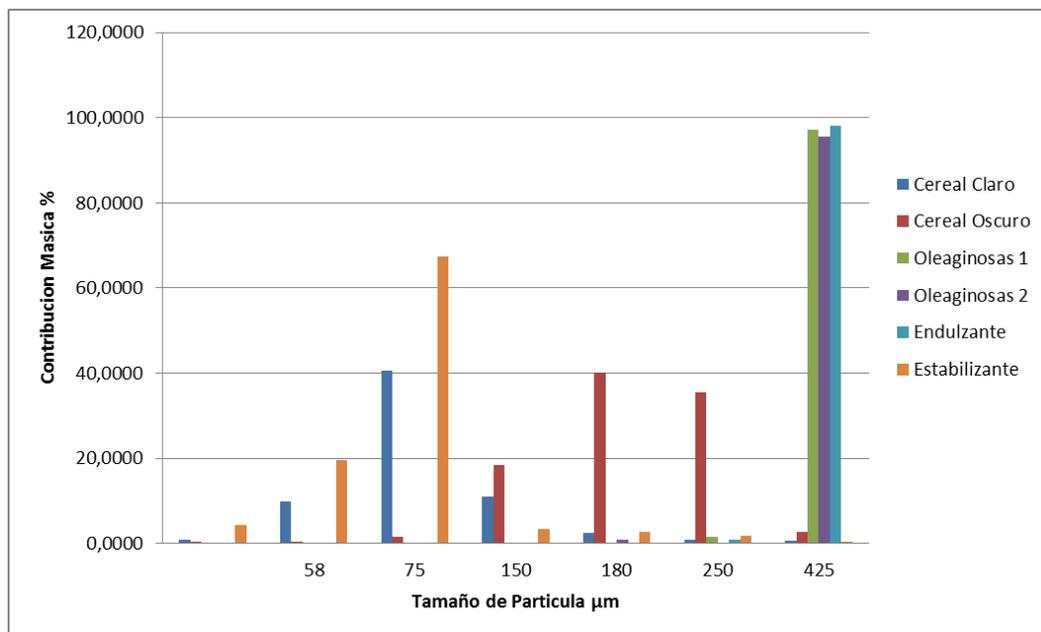


Figura 10. Distribución del tamaño de partícula de las materias primas del producto comercial

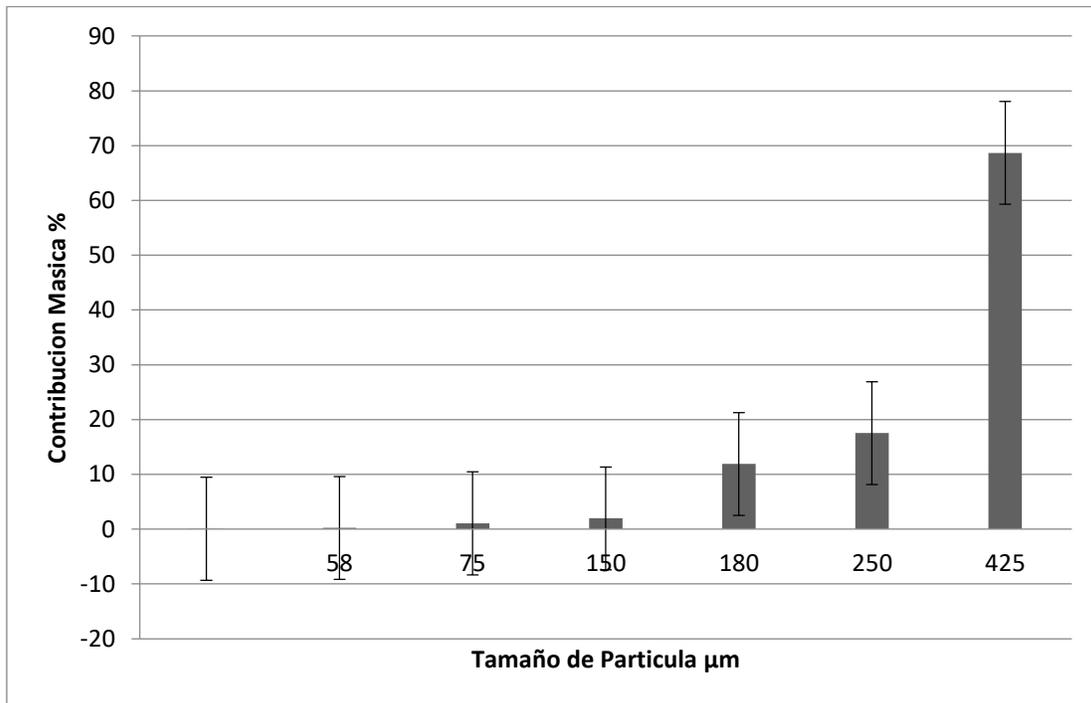


Figura 11. Distribución del tamaño de partícula del Producto comercial

La mayoría de las materias primas evaluadas presentan un sesgo al lado derecho de la Figura 10, lo cual significa que el tamaño de las partículas es mayor a 250 μm (corresponde al tamiz # 60); el comportamiento de la distribución de tamaño de partícula para cada materias primas, se reafirma al observar la Figura 11 de distribución de tamaño de partícula del producto comercial. El tamaño de las partículas, afecta de manera directa el proceso de humectabilidad de las materias primas, si son partículas grandes forman poros grandes.

Diversos estudios han mostrado la relación entre propiedades físicas, químicas y la composición de la superficie de polvos con las propiedades de instantaneidad de ellos; así los resultados para productos a base de cacao y azúcar, indican que poseen buena propiedad de dispersión para tamaños de partícula >0.4 mm, mientras que para partículas <0.2 mm

esta propiedad no es buena (24). Lo anterior da una idea general de que materias primas como los cereales tienen problemas al momento de dispersarse.

Las partículas pequeñas, que ofrecen una gran relación área/masa, no se humedecen individualmente, sino que forman grumos quedando cubiertas por una capa superficial mojada, la cual reduce la velocidad con que el agua penetra hacia el interior de las partículas. Incrementado el tamaño de partícula y/o aglomerándolas, se puede reducir la tendencia a la formación de grumos (62). Los malos resultados en la humectabilidad para partículas muy pequeñas, son la razón por la cual en muchos productos se recurre al uso de aglomerantes, pues al aumentar el tamaño de las partículas se mejora esta propiedad; 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.

La determinación del tamaño de partícula por el método de tamizado no fue posible para el aroma y el extracto de malta, dichos materiales por tener tamaño pequeño, producen problemas de cohesividad en este método y cambiaban sus propiedades reológicas, evidenciándose la formación de una masa húmeda en el caso del aroma y para el extracto de malta se aglomeran y se endurecen las partículas, por lo cual se recurrió a utilizar otra técnica más avanzada de determinación de tamaño de partícula lo cual se desarrolló en la sesión 2.6.3.

#### 2.6.2.2 *Ángulo de reposo, índice de Carr e índice de Hausner*

Para estos resultados se debe tener en cuenta que ninguna materia prima fluyó por sí sola a través del embudo de plástico, sino que se tuvo que realizar un golpeteo suave para que pudieran bajar. En la Tabla 4 se muestra el promedio de cada medida con la respectiva desviación estándar, los cuales muestran que las materias primas, incluyendo el producto tienen ángulos de reposo menores a 50°. Lo anterior indica que dichas materias primas y el producto, según la USP 36/NF 31 (63), tienen propiedades de flujo que van de excelentes a buenas. El ángulo de reposo es una medida que está relacionada con la fricción interna y la cohesión entre las partículas del polvo (64). 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.

Tabla 4. Registro de datos de ángulo de reposo y velocidad de deslizamiento de las materias primas y del producto comercial.

<b>Materia Prima</b>	<b>Ángulo (Grados)</b>	<b>Aptitud al Flujo</b>	<b>Velocidad de Deslizamiento</b>
Cereal Claro	29,337 ± 3,66	Excelente	2,303 ± 0,03
Cereal Oscuro	37,278 ± 2,7	Bastante correcta	1,628 ± 0,12
Oleaginosas 1	29,109 ± 2,2	Excelente	3,156 ± 0,43
Oleaginosas 2	32,009 ± 2,14	Buena	0,965 ± 0,03
Endulzante	23,839 ± 0,52	Excelente	20,38 ± 1,32
Extracto de Malta	16,404 ± 1,32	Excelente	3,818 ± 1,23
Aroma	28,759 ± 1,68	Excelente	4,632 ± 0,64
Estabilizante	39,209 ± 1,56	Bastante correcta	0,82 ± 0,12
Producto	24,911 ± 1,52	Excelente	3,143 ± 0,28

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 apisonado, las cuales son medidas indirectas que no se ven afectadas por las condiciones experimentales. De acuerdo a la USP 36/ NF 31 (63), todas las materias primas y el producto comercial, presentan IC (Compresibilidad) entre 8 y 20 según la Tabla 5, lo cual indica que el producto con IC de 8.060, presenta propiedades de flujo excelentes (gránulos en polvo). Por su parte, se encontró que las materias primas en general tienen unas propiedades de flujo buenas (IC entre 11 a 15) y correctas (IC entre 16 a 20). 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 (IH entre 1.12 a 1.18) a correctas (IH entre 1.19 a 1.25).

Tabla 5. Índices de Carr y Hausner de las materias primas y del producto comercial

Materia Prima	Índice de Carr	Densidad Aparente	Densidad Apisonada	Voluminosidad	Porosidad	Índice de Hausner
Cereal Claro	16,28 ± 0	0,57 ± 0	0,68 ± 0,01	1,76 ± 1,55	16,28 ± 0,02	1,19 ± 0
Cereal Oscuro	17,11 ± 0	0,41 ± 0	0,5 ± 0,04	2,41 ± 1,41	17,11 ± 0,02	1,21 ± 0
Oleaginosas 1	11,73 ± 0	0,43 ± 0,01	0,49 ± 0,03	2,33 ± 1,92	11,73 ± 0,02	1,13 ± 0
Oleaginosas 2	13,31 ± 0	0,43 ± 0,03	0,5 ± 0,04	2,34 ± 7,07	13,31 ± 0,1	1,16 ± 0
Endulzante	12,93 ± 0	0,65 ± 0	0,74 ± 0,01	1,55 ± 0,09	12,93 ± 0	1,15 ± 0
Extracto de Malta	13,06 ± 0,02	0,5 ± 0,01	0,57 ± 0,11	2,01 ± 4,07	13,06 ± 0,05	1,15 ± 0
Aroma	18,93 ± 0	0,54 ± 0,01	0,66 ± 0,03	1,87 ± 0,43	18,93 ± 0	1,23 ± 0
Estabilizante	16,73 ± 0,01	0,54 ± 0,01	0,65 ± 0,03	1,85 ± 2,63	16,73 ± 0,03	1,2 ± 0
Producto	8,06 ± 0,47	0,47 ± 0,51	0,51 ± 2,12	2,12 ± 8,06	8,06 ± 1,08	1,09 ± 0

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 solvente y va a permitir que se pueda disolver con más facilidad. A partir de ello, las materias primas menos porosas pueden generar problemas al momento de disolver el producto caso del estabilizante y el producto comercial actual. 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 al momento de disolverse.

### 2.6.2.3 Determinación del porcentaje de humedad de cada materia prima

Este procedimiento se realizó a una temperatura de 50°C para cada material. En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 6. Humedad del producto comercial y cada una de su materias primas

<b>Materia Prima</b>	<b>Humedad final</b>
Cereal Claro	4,01%
Cereal Oscuro	3,47%
Oleaginosas 1	1,69%
Oleaginosas 2	1,06%
Endulzante	2,23%
Extracto de Malta	2,14%
Aroma	19,99%
Estabilizante	9,27%
Producto	4,82%

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 % de humedad de 9.273 y 19.993, respectivamente, lo cual pueden generar ciertos problemas de disolución a la hora de preparar la bebida, además de problemas durante el almacenamiento.

### 2.6.3 Mediciones del tamaño de partícula

Los resultados obtenidos por la caracterización de las partículas de las materias primas que componen el producto se muestran en la Tabla 7. Los resultados evidencian la poli dispersidad que presentan estos materiales, ya que presentan una gran variabilidad (ver

Anexos 6 y 7). Esto es debido a que estas materias primas son alimentos multicomponentes, donde se pueden encontrar grupos químicos como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, entre otros, los cuales tienen diversos tamaños de partículas. Para el cereal claro, se registró un diámetro volumétrico DV (50) de 70,7  $\mu\text{m}$ , por ficha técnica esta declara un DV (90) de 150  $\mu\text{m}$ , mientras el encontrado en este estudio fue de 190  $\mu\text{m}$ . Otros autores han encontrado valores de DV (50) entre 16,46 a 73,26  $\mu\text{m}$ , para diferentes variedades (64) y Drakos (65) reportaron un valor de  $181.65a \pm 3,32 \mu\text{m}$  para este cereal comercial. En el caso de cereal oscuro, se registró un DV (50) de 43,3  $\mu\text{m}$ , por ficha técnica esta declara un DV (90) < de 150  $\mu\text{m}$ , lo cual es similar a lo encontrado en este estudio, 113  $\mu\text{m}$ . Las oleaginosas clase 1, se encuentran en un DV (50) de 877  $\mu\text{m}$ . Las oleaginosas 2, presentaron un DV (50) de 589  $\mu\text{m}$ , el endulzante registró un DV (50) de 12,7  $\mu\text{m}$ , para el extracto de malta se registró un DV (50) de 6,91  $\mu\text{m}$ , para el aroma se registró un valor de 8,12  $\mu\text{m}$ . Finalmente, para el producto actual se encontró un valor de DV (50) que corresponde a 97,5  $\mu\text{m}$ .

Tabla 7. Distribución de tamaño de partícula para materias primas y producto comercial

<b>Materia Prima</b>	<b>DV(10) <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>DV(50) <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>DV(90) <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>DV(100) <math>\mu\text{m}</math></b>
<b>Cereal Claro</b>	14,3 $\pm$ 0,02	70,7 $\pm$ 0,31	190 $\pm$ 2,01	398 $\pm$ 2,40
<b>Cereal Oscuro</b>	17,3 $\pm$ 0,91	43,3 $\pm$ 1,02	113 $\pm$ 3,01	308 $\pm$ 2,05
<b>Oleaginosas 1</b>	144 $\pm$ 2,08	877 $\pm$ 3,02	2070 $\pm$ 4,00	3500 $\pm$ 6,78
<b>Oleaginosas 2</b>	208 $\pm$ 2,09	589 $\pm$ 3,01	1130 $\pm$ 1,01	1850 $\pm$ 3,07
<b>Endulzante</b>	0,71 $\pm$ 0,01	12,7 $\pm$ 0,04	69,4 $\pm$ 0,02	163 $\pm$ 0,01
<b>Extracto de Malta</b>	2,67 $\pm$ 0,11	6,91 $\pm$ 0,09	53,5 $\pm$ 0,14	163 $\pm$ 0,21
<b>Aroma</b>	4,52 $\pm$ 0,30	8,12 $\pm$ 0,02	17,1 $\pm$ 0,51	66,6 $\pm$ 0,01
<b>Producto</b>	21,3 $\pm$ 1,01	97,5 $\pm$ 1,06	731 $\pm$ 5,01	1830 $\pm$ 4,03

#### 2.6.4 Morfología

Una típica imagen SEM del producto comercial en estudio se presenta en la Figura 12, para el producto comercial se evidencian partículas con diferentes características en su morfología y su tamaño, unas partículas tenían una forma esférica, otras con amorficidad.

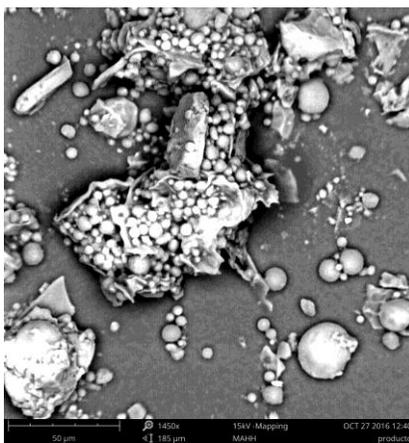


Figura 12. Imágenes SEM para el producto comercial

La Figura 13 muestra imágenes obtenidas por SEM de cada una de las materias primas que componen el producto comercial. La caracterización de la morfología de los sólidos es importante, ya que puede condicionar muchas de sus propiedades. Por ejemplo, puede afectar factores como la fluidez y la velocidad de dispersión 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 (66) (67). Este tipo de materias primas solidas son de origen orgánico, y sus formas de partícula individuales muestra una gran diversidad de estructuras, ya que sus composiciones químicas son más complejas (9). Las variaciones de forma en los polvos de alimentos son enormes, grados de irregularidad como en el caso de cereales claro y oscuro, el endulzate, el extracto de malta y aroma, hasta una esfericidad aproximada, como es el caso de las oleaginosas 1 y 2.

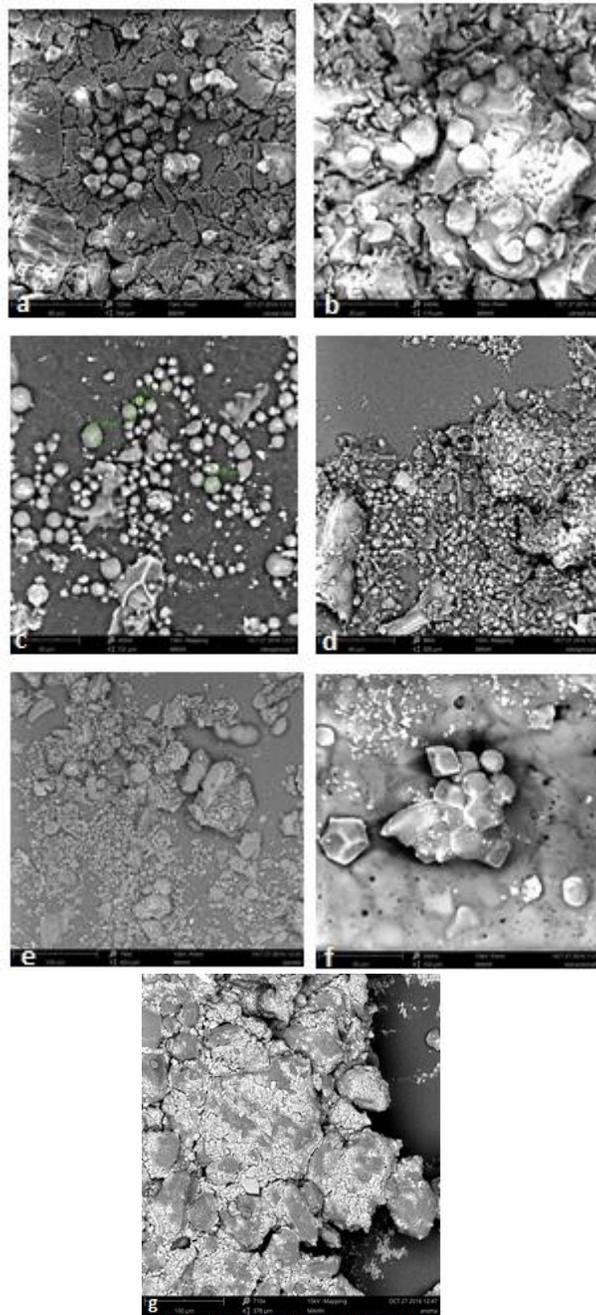


Figura 13. Imágenes SEM para las materias primas solidas estudiadas: A). cereal claro, b). cereal oscuro, c) oleaginosas 1, d) oleaginosas 2, e). endulzante, f). extracto de malta y g).aroma

## 2.6.5 Propiedades termodinámicas de superficie

### 2.6.5.1 Angulo de contacto

La media de los resultados obtenidos, su desviación estándar para el parámetro de ángulo de contacto de cada materia prima y del producto se muestran en la Tabla 8. Las materias primas que presentan un ángulo de contacto muy grande son el cereal claro, cereal oscuro, oleaginosas 1, oleaginosas 2, de acuerdo a ello, estas materias primas de formulación hacen que el producto final tenga un valor de ángulo de contacto igualmente alto ( $91,166 \pm 5,27^\circ$ ). Una solución a este inconveniente es someter estas materias primas a un proceso de aglomeración, el cual incrementa en gran medida el tamaño de las partículas del material y crea los gránulos con alta porosidad debido a la formación de estructuras huecas. Por lo tanto, los materiales aglomerados generalmente tienen una mejor humectabilidad que los polvos estándar, así el fluido fácilmente permea las partículas (9).

Tabla 8. Angulo de contacto para las materias primas y el producto comercial

<b>Materia Prima</b>	<b>Angulo de contacto <math>\theta</math></b>
<b>Cereal Claro</b>	$65,333 \pm 2,14$
<b>Cereal Oscuro</b>	$85,100 \pm 2,00$
<b>Oleaginosas 1</b>	$77,916 \pm 3,06$
<b>Oleaginosas 2</b>	$64,666 \pm 1,23$
<b>Endulzante</b>	$62,133 \pm 3,61$
<b>Extracto de Malta</b>	$37,933 \pm 4,44$
<b>Aroma</b>	$70,001 \pm 1,41$
<b>Producto</b>	$91,166 \pm 5,27$

Al realizar el proceso de pre-humectación con los tres agentes humectantes elegidos: lecitina, glicerina y PEG 400, se obtuvo los datos que se muestran en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Angulo de contacto para cereal claro y cereal oscuro, frente a tres humectantes a tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura, etilenglicol e isopropanol.

Materia Prima	Humectante	%	Agua	Etilenglicol	Isopropanol	
			Angulo de Contacto (°)	Angulo de Contacto (°)	Angulo de Contacto (°)	
Cereal Claro	Control	0	65,333 ± 2,14 <sup>a</sup>	79,933 ± 1,32	18,15 ± 2,81	
		0,200	57,7 ± 2,15 <sup>b</sup>	78,183 ± 2,67	17,7 ± 3,85	
		0,800	54,5 ± 2,95 <sup>ab</sup>	80,966 ± 1,64	15,3 ± 1,16	
	Lecitina	1,500	58,9 ± 0,75 <sup>a</sup>	80,55 ± 2,01	17,266 ± 0,88	
		3,000	61,983 ± 5,52 <sup>a</sup>	77,35 ± 1,95	19,566 ± 3,36	
		6,000	64,833 ± 0,56 <sup>a</sup>	79,55 ± 3	17,45 ± 0,9	
	Glicerina	9,000	62,85 ± 4,03 <sup>a</sup>	80,15 ± 0,21	16,316 ± 0,48	
		3,000	58,866 ± 1,41 <sup>ab</sup>	76,066 ± 4,71	18,65 ± 0,13	
		6,000	56,633 ± 2,25 <sup>b</sup>	81,316 ± 1,31	18,466 ± 2,66	
	PEG 400	9,000	60,783 ± 4,62 <sup>ab</sup>	79,85 ± 2,23	16,65 ± 1,72	
		Control	0	87,933 ± 3,75 <sup>a</sup>	73,8 ± 2,73	18,033 ± 2,25
		Lecitina	0,200	83,766 ± 0,63 <sup>a</sup>	75,816 ± 2,88	18,666 ± 2,36
0,800	84,133 ± 4,65 <sup>a</sup>		79,433 ± 3,98	17,016 ± 0,76		
1,500	81,033 ± 1,4 <sup>a</sup>		78,366 ± 5,55	18,016 ± 1,06		
Cereal Oscuro	Glicerina	3,000	85,666 ± 4,46 <sup>a</sup>	78,283 ± 6,46	19,566 ± 2,9	
		6,000	79,666 ± 6,34 <sup>a</sup>	75,25 ± 6,71	15,95 ± 0,91	
		9,000	83,016 ± 1,7 <sup>a</sup>	72,766 ± 3,28	15,433 ± 1,63	
	PEG 400	3,000	76 ± 2,01 <sup>b</sup>	76,925 ± 1,16	20,7 ± 1,81	
		6,000	74,483 ± 1,35 <sup>b</sup>	77,05 ± 0,75	20 ± 1,57	
		9,000	68,3 ± 5,67 <sup>b</sup>	75,883 ± 2,24	17,566 ± 2,89	

Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Se observaron diferencias significativas en las medias del ángulo de contacto de los diferentes tratamientos con respecto al control ( $p < 0,05$ ). a, b, c Los valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , el análisis post-hoc de Tukey).

Según los resultados de la Tabla 9 y 10, se evidencia que la relación entre el ángulo de contacto y las características de humectación se ve favorecida, ya que se disminuyó significativamente ( $P < 0,05$ ) el ángulo de contacto para las materias primas cereal claro, oleaginosas 1 y oleaginosas 2, con el uso de lecitina de soja como agente humectante.

Tabla 10. Angulo de contacto para oleaginosas 1 y 2, frente a tres humectantes a tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura, etilenglicol e isopropanol.

Materia Prima	Humectante	% Humectante	Agua	Etilenglicol	Isopropanol	
			Angulo de Contacto (°)	Angulo de Contacto (°)	Angulo de Contacto (°)	
Oleaginosas 1	Control	0	77,916 ± 3,06 <sup>a</sup>	71,466 ± 1,54	22,066 ± 3,37	
		0,200	74,528 ± 6,86 <sup>ab</sup>	77,183 ± 3,49	23,05 ± 2,5	
		0,800	73,483 ± 2,75 <sup>ab</sup>	78,991 ± 0,35	32,983 ± 9,78	
	Lecitina	1,500	65,783 ± 3,05 <sup>b</sup>	75,653 ± 1,38	30,716 ± 4,22	
		3,000	58,55 ± 10,71 <sup>a</sup>	74,483 ± 6,77	17,9 ± 2,52	
		6,000	80,716 ± 6,6 <sup>a</sup>	78,516 ± 3,74	26,45 ± 5,83	
	Glicerina	9,000	72 ± 5,6 <sup>a</sup>	72,05 ± 5,54	16,766 ± 0,37	
		3,000	36,883 ± 2,33 <sup>b</sup>	77,966 ± 4,19	21,3 ± 7,11	
		6,000	70,72 ± 3,69 <sup>a</sup>	74,483 ± 7,28	28,4 ± 6,43	
	PEG 400	9,000	72,3 ± 4,71 <sup>a</sup>	81,383 ± 1,71	31,633 ± 3,33	
		Control	0	86,016 ± 4,76 <sup>a</sup>	77,466 ± 12,24	29,766 ± 8,8
		Lecitina	0,200	79 ± 4,7 <sup>a</sup>	74,65 ± 2,43	24,283 ± 21,38
0,800	34,233 ± 4,81 <sup>b</sup>		82,233 ± 2,17	23,168 ± 3,53		
1,500	29,675 ± 8,88 <sup>b</sup>		73,616 ± 3,19	20,366 ± 0,83		
Oleaginosas 2	Glicerina	3,000	85,266 ± 1,95 <sup>a</sup>	77,283 ± 2,51	25,033 ± 5,11	
		6,000	82,566 ± 3,17 <sup>ab</sup>	78,7 ± 9,88	24,283 ± 3,57	
		9,000	71,033 ± 8,23 <sup>b</sup>	73,55 ± 2,63	21,516 ± 6,78	
	PEG 400	3,000	77,666 ± 8,47 <sup>a</sup>	77,933 ± 1,26	27,916 ± 4,8	
		6,000	74,633 ± 4,52 <sup>a</sup>	77,916 ± 3,43	28,383 ± 0,53	
		9,000	77,983 ± 3,53 <sup>a</sup>	76,216 ± 7,13	27,583 ± 1,67	

Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Se observaron diferencias significativas en las medias del ángulo de contacto de los diferentes tratamientos con respecto al control ( $p < 0,05$ ). a, b, c Los valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , el análisis post-hoc de Tukey).

Para el caso del cereal claro, la concentración que tuvo mayor diferencia significativa estadísticamente respecto del control fue lecitina al 0,2%, logrando disminuir el ángulo de contacto desde  $65,33 \pm 2,14^\circ$  hasta  $57,7 \pm 2,15^\circ$ . Para oleaginosas 1, la lecitina mostró diferencia estadística significativa a una concentración del 1,5% respecto del control desde  $77,916 \pm 3,06^\circ$  hasta  $65,783 \pm 3,05^\circ$ . Para oleaginosas 2, la lecitina al 0,8% y 1,5% logró disminuir el ángulo de contacto significativamente, desde  $86,016 \pm 4,76^\circ$  hasta  $34,233 \pm 4$  y  $29,675 \pm 8,88^\circ$ , respectivamente. En estudios similares se ha reportado un descenso del ángulo de contacto de  $89^\circ$  a  $81^\circ$  para superficies de alimentos similares o con una gran proporción de fase hidrófoba (28).

Al adicionar los humectantes se observó que en todos los casos, se formó un sistema aglomerado, en comparación con un sistema de partículas finamente dispersa, los materiales sólidos pulverulentos aglomerados tienen mejor fluidez, menor tendencia a pegarse entre sí, se mejora la densidad de empaquetamiento y homogeneidad que son importantes para alimentos y bebidas de preparación rápida, como se evidenció tanto al formar las tabletas, y en los resultados que logran la disminución del ángulo de contacto (24). La composición de la superficie de los polvos juega también un papel importante durante el proceso de remojo, ya que la presencia de algún componente hidrofóbico, característico en material primas como oleaginosas 1 y 2, deterioran la humectabilidad del producto.

La adición del humectante como el PEG 400, consiguió disminuir el ángulo de contacto para el cereal claro, cereal oscuro y oleaginosas 1. Este humectante a una concentración del 6%, logró disminuir el ángulo de contacto para el cereal claro respecto del control desde  $65,333 \pm 2,14^\circ$  hasta  $56,633 \pm 2,25$ . Para el caso del cereal oscuro a una concentración del 3% se evidenció una disminución del ángulo de contacto desde  $87,933 \pm 3,75^\circ$  hasta  $76,000 \pm 2,01^\circ$  la cual es estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ); a medida que se incrementa la concentración de este humectante se logra disminuir el ángulo de contacto.

Para la materia prima oleaginosas 1, se encontró que el tratamiento con PEG 400 al 3%, logró disminuir el ángulo desde  $77,916 \pm 3,06^\circ$  hasta  $36,883 \pm 2,33^\circ$ . Por otra parte, la disminución del ángulo de contacto no fue constante en el rango estudiado de la concentración del humectante, el ángulo de contacto pasa a través de un mínimo y luego aumenta de nuevo con un exceso de concentración del 9%, hasta  $72,3 \pm 4,71^\circ$ . Este aumento podría explicarse por la formación de adsorción de múltiples capas a alta concentración del humectante que resulta en la interacción entre las especies adsorbidas y re-orientación en la superficie del polvo. En la investigación realizada por Sis y Birinci (68), encontraron que la reversión del ángulo de contacto parece cambiar a una mayor concentración, al aumentar el número etoxilación del tensoactivo. Los autores observaron una disminución general en el ángulo de contacto con el aumento de número de etoxilación (y por tanto HLB) del agente tensoactivo. Por otro lado, Musselman y Chander (69) estudiaron las propiedades de humectación y de adsorción de tensoactivos no iónicos a base de diol acetilénico sobre negro de humo y pigmentos de CuPc, compuestos muy hidrófobos, como los estudiados en este trabajo; encontraron que, a bajas concentraciones de tensoactivo por debajo de la concentración micelar crítica (CMC), el ángulo de contacto aumenta con un aumento en la concentración. Como la concentración se incrementó aún más, las moléculas de tensoactivo adsorbidos, se reorientaron para formar una monocapa en el que la porción hidrófoba del tensoactivo se adsorbió en una configuración vertical dejando las cadenas de óxido de etileno sin extenderse en la solución.

En el caso de la glicerina, su adición como agente humectante para cereal claro, cereal oscuro y oleaginosas 1, no surtió efecto, puesto que a concentración baja (3%) logró disminuir el ángulo de contacto, pero estadísticamente no es significativo comparado el ángulo de contacto del control ( $P > 0,05$ ). Además al igual que el PEG 400, la glicerina en todos estos casos presento un mínimo de ángulo de contacto y luego aumento de nuevo con un exceso de concentración del 6%. Para el caso de oleaginosas 2, se evidencia según la Tabla 10, que la glicerina a una concentración del 9%, logra disminuir el ángulo de

contacto desde  $86,016 \pm 4,76^\circ$  hasta  $71,033 \pm 8,23^\circ$ , siendo este descenso significativo ( $P < 0,05$ ). Con relación al análisis de ángulo de contacto se puede concluir que para el cereal claro la lecitina al 0,2% y el PEG 400 al 6%, logran un efecto significativo en la disminución de esta medida; el análisis estadístico no mostró diferencia significativa ( $P > 0,05$ ) entre estos dos humectantes, por lo cual la selección del humectante ideal se puede establecer a partir de las demás mediciones realizadas en el trabajo o mediante un análisis de costos y de viabilidad técnica en la producción.

En cuanto al cereal oscuro, solamente el PEG 400 funcionó adecuadamente logrando disminuir el ángulo de contacto. Para las oleaginosas 1, los agentes humectantes lecitina al 1,5% y PEG 400 al 3%, lograron la disminución de la medida de ángulo de contacto, sin embargo el PEG 400 logró aún más disminuirlo significativamente ( $P < 0,05$ ). Finalmente para las oleaginosas 2, los agentes humectantes de mejor resultado fueron lecitina al 0,8% y glicerina al 9%; sin embargo la lecitina disminuyó aún más el ángulo de contacto respecto del otro agente humectante.

#### 2.6.5.2 Determinación del trabajo de adhesión

Para el tipo de materias primas trabajadas se tienen reportados trabajos de adhesión en agua que van desde 90 a  $100 \text{ mJ/m}^2$  (70); los datos obtenidos para el trabajo de adhesión, muestra valores para cereal claro de  $102,71 \pm 2,46 \text{ mJ/m}^2$ , para cereal oscuro de  $74,696 \pm 4,71 \text{ mJ/m}^2$ , para oleaginosas 1 de  $87,179 \pm 3,77 \text{ mJ/m}^2$  y para oleaginosas 2 de  $77,096 \pm 5,97 \text{ mJ/m}^2$ ; estos resultados indican que los materiales con condición hidrófoba por sus valores de trabajo de adhesión más bajo son el cereal oscuro y las oleaginosas 2, sin embargo, el uso de los agentes humectantes, en estos casos lecitina para oleaginosas 2 y PEG 400 para el cereal oscuro, logran aumentar el trabajo de adhesión hasta  $131,569 \pm 3,43 \text{ mJ/m}^2$  y  $89,535 \pm 2,45 \text{ mJ/m}^2$ , respectivamente y con una diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) (Ver Tablas 11 y 12).

Tabla 11. Valores de trabajo de adhesión, para tabletas de cereal claro y cereal oscuro, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura

<b>Materia Prima</b>	<b>Humectante</b>	<b>% Humectante</b>	<b>W adhesión (mJ/m<sup>2</sup>)</b>	
<b>Cereal Claro</b>	Control	0	102,176 ± 2,46 <sup>a</sup>	
		0,200	110,608 ± 2,28 <sup>b</sup>	
		0,800	113,931 ± 2,99 <sup>ab</sup>	
	Lecitina	1,500	109,339 ± 0,81 <sup>a</sup>	
		3,000	105,86 ± 6,08 <sup>a</sup>	
		6,000	102,759 ± 0,64 <sup>a</sup>	
	Glicerina	9,000	104,945 ± 4,47 <sup>a</sup>	
		3,000	109,37 ± 1,53 <sup>ab</sup>	
		6,000	111,734 ± 2,35 <sup>b</sup>	
	PEG 400	9,000	107,215 ± 5,03 <sup>ab</sup>	
		Control	0	74,696 ± 4,71 <sup>a</sup>
		Lecitina	0,200	79,928 ± 0,79 <sup>a</sup>
0,800	79,451 ± 5,81 <sup>a</sup>			
1,500	83,335 ± 1,74 <sup>a</sup>			
<b>Cereal Oscuro</b>	Glicerina	3,000	77,537 ± 5,59 <sup>a</sup>	
		6,000	84,976 ± 7,8 <sup>a</sup>	
		9,000	80,863 ± 2,13	
	PEG 400	3,000	89,535 ± 2,45 <sup>b</sup>	
		6,000	91,384 ± 1,64 <sup>b</sup>	
		9,000	98,675 ± 6,7 <sup>b</sup>	

Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Se observaron diferencias significativas en las medias del trabajo de adhesión de los diferentes tratamientos con respecto al control ( $p < 0,05$ ). a, b, c Los valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , el análisis post-hoc de Tukey).

Tabla 12. Valores de trabajo de adhesión, para tabletas de oleaginosas 1 y oleaginosas 2, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura

<b>Materia Prima</b>	<b>Humectante</b>	<b>% Humectante</b>	<b>W adhesión (mJ/m<sup>2</sup>)</b>	
<b>Oleaginosas 1</b>	Control	0	87,179 ± 3,77 <sup>a</sup>	
	Lecitina	0,200	91,243 ± 8,33 <sup>ab</sup>	
		0,800	92,581 ± 3,31 <sup>ab</sup>	
		1,500	101,646 ± 3,52 <sup>b</sup>	
	Glicerina	3,000	109,287 ± 11,53 <sup>a</sup>	
		6,000	83,675 ± 8,15 <sup>a</sup>	
		9,000	94,309 ± 6,7 <sup>a</sup>	
	PEG 400	3,000	129,737 ± 1,77 <sup>b</sup>	
		6,000	95,874 ± 4,41 <sup>a</sup>	
		9,000	93,972 ± 5,66 <sup>a</sup>	
	<b>Oleaginosas 2</b>	Control	0	77,096 ± 5,97 <sup>a</sup>
		Lecitina	0,200	85,826 ± 5,8 <sup>a</sup>
0,800			131,569 ± 3,43 <sup>b</sup>	
1,500			134,235 ± 5,16 <sup>b</sup>	
Glicerina		3,000	78,047 ± 2,44 <sup>a</sup>	
		6,000	81,418 ± 3,96 <sup>ab</sup>	
		9,000	95,37 ± 9,74 <sup>b</sup>	
PEG 400		3,000	87,402 ± 10,47 <sup>a</sup>	
		6,000	91,167 ± 5,49 <sup>a</sup>	
		9,000	87,092 ± 4,36 <sup>a</sup>	

Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Se observaron diferencias significativas en las medias del trabajo de adhesión de los diferentes tratamientos con respecto al control ( $p < 0,05$ ). a, b, c Los valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , el análisis post-hoc de Tukey).

### 2.6.5.3 Determinación de la energía libre de superficie y sus componentes mediante el Modelo Owens-Wendt-Rabel-Kaelbe (OWRK)

El proceso de mojado y humectabilidad conduce a un aumento de la energía libre de superficie del sólido. Como se observa en las Tablas 13 y 14, también se realizaron mediciones de ángulo de contacto con gotas de etilenglicol y de isopropanol. De esta

manera, se logró encontrar un valor de energía libre superficial (SFE) total, y los valores de aportes polares y dispersivos a dicha energía total.

En todas las materias primas evaluadas se tiene que la contribución mayor la tiene la parte polar, a excepción del cereal oscuro, donde se evidencia contribuciones de la parte polar y de la parte dispersiva casi que por igual, mostrando un valor de  $12,046 \pm 2,7$  mN/m y  $12,526 \pm 3,94$  mN/m, respectivamente. Por lo tanto, los valores obtenidos para cereal claro, y las oleaginosas clase 1 y 2, indican mayor relevancia de interacciones prevalentes de tipo puente de hidrógeno o dipolo-dipolo, representadas por grupos químicos en las oleaginosas como carbohidratos y proteínas, aunque la contribución de la parte dispersiva debería ser mayor debido al alto contenido en ácidos grasos poli-insaturados que contienen estos alimentos, con un presencia de alrededor del 48% en su composición química (71). Mientras para el cereal oscuro también se hacen importantes las interacciones dispersivas tipo London, las cuales están dadas por una presencia de la fracción lipídica que se divide en compuestos no polares o libres como los triglicéridos que son solubles en compuestos no polares como el éter de petróleo y en compuestos polares o ligados, como lo son los mono glicéridos, di-glicéridos, fosfolípidos y glicolípidos, los cuales son solubles en compuestos polares, característicos de este tipo de cereal (72). La parte polar ya es una contribución de los componentes que se encuentran en mayor proporción en este cereal y que corresponden a carbohidratos y la fibra dietética soluble representada por  $\beta$ -glucanos y pentosas.

La contribución de los agentes humectantes se enmarca en el aumento de la energía libre superficial, a medida que se disminuye el ángulo de contacto, haciéndose más fuertes las uniones de tipo polar, frente a una disminución de la contribución de la parte dispersiva o apolar, para el caso de cereal claro con el uso de un 0,2% de lecitina, se incrementa la SFE total hasta  $54,123 \pm 3,32$  mN/m y con PEG 400 al 6%, se logra llevar a  $56,85 \pm 3,27$  mN/m sin diferencias significativa entre ellas ( $P > 0,05$ ). En cuanto al Cereal Oscuro, solamente el PEG 400 funcionó adecuadamente logrando aumentar la SFE total hasta  $32,033 \pm 1,79$  mN/m.

Tabla 13. Valores de energía libre superficial total y sus contribuciones polar y dispersiva, para tabletas de cereal oscuro y cereal claro, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura, etilenglicol e isopropanol.

Materia Prima	Humectante	% Humectante	Energía libre superficial (mN/m)					
			SFE <sub>total</sub>	SFE <sup>d</sup>	SFE <sup>p</sup>	RQ	Schi	
Cereal Claro	Control	0	44,44 ± 2,51 <sup>a</sup>	2,58 ± 0,47	41,86 ± 2,97	0,912	12,78	
		0,200	54,123 ± 3,32 <sup>b</sup>	1,376 ± 0,42	52,75 ± 3,73	0,943	11,00	
		0,800	48,55 ± 4,11 <sup>ab</sup>	1,343 ± 0,32	47,206 ± 4,43	0,927	10,86	
	Lecitina	1,500	43,11 ± 0,84 <sup>a</sup>	2,01 ± 0,24	41,1 ± 0,96	0,930	9,88	
		3,000	48,11 ± 7,13 <sup>a</sup>	2,323 ± 1,06	45,786 ± 8,15	0,926	11,78	
		6,000	44,843 ± 1,12 <sup>a</sup>	2,523 ± 0,42	42,316 ± 1,52	0,915	12,59	
	Glicerina	9,000	38,516 ± 4,57 <sup>a</sup>	2,936 ± 0,84	35,58 ± 5,41	0,928	9,08	
		3,000	51,82 ± 2,78 <sup>ab</sup>	1,823 ± 0,66	49,996 ± 3,42	0,941	10,94	
		6,000	56,85 ± 3,27 <sup>b</sup>	0,906 ± 0,25	55,94 ± 3,51	0,944	11,14	
	PEG 400	9,000	50,336 ± 5,6 <sup>ab</sup>	1,75 ± 0,46	48,586 ± 6,07	0,929	11,96	
		Control	0	24,573 ± 1,27 <sup>a</sup>	12,046 ± 2,7	12,526 ± 3,94	0,762	16,10
			0,200	26,166 ± 0,19 <sup>a</sup>	9,293 ± 1,27	16,873 ± 1,46	0,802	15,40
0,800	26,333 ± 3,03 <sup>a</sup>		8,83 ± 2,32	17,5 ± 5,12	0,788	16,31		
Cereal Oscuro	Lecitina	1,500	28,066 ± 1,01 <sup>a</sup>	7,593 ± 1,23	20,47 ± 1,87	0,820	15,35	
		3,000	25,46 ± 2,16 <sup>a</sup>	9,703 ± 2,99	15,753 ± 4,73	0,779	16,28	
		6,000	29,283 ± 4,43 <sup>a</sup>	8,043 ± 1,85	21,24 ± 5,94	0,826	14,94	
	Glicerina	9,000	26,913 ± 0,89 <sup>a</sup>	10,17 ± 1,75	16,746 ± 2,64	0,803	15,28	
		3,000	32,033 ± 1,79 <sup>b</sup>	5,886 ± 0,54	26,143 ± 2,3	0,862	13,96	
		6,000	33,463 ± 1,24 <sup>b</sup>	5,427 ± 0,45	28,06 ± 1,72	0,870	13,48	
	PEG 400	9,000	40,056 ± 5,95 <sup>b</sup>	4,003 ± 1,5	36,05 ± 7,45	0,900	12,68	

Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Se observaron diferencias significativas en las medias de la energía libre superficial de los diferentes tratamientos con respecto al control ( $p < 0,05$ ). a, b, c Los valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , el análisis post-hoc de Tukey).

Para las oleaginosas 1, los agentes humectantes Lecitina al 1,5% y PEG 400 al 3%, lograron aumentar la SFE total, sin embargo el PEG 400 logró un valor de  $84,546 \pm 1,94$  mN/m ( $P < 0,05$ ). Finalmente para las oleaginosas 2, los agentes humectantes de mejor

resultado fueron lecitina al 0,8% y glicerina al 9%; sin embargo, la lecitina aumentó la SFE total aún más respecto del otro agente humectante, con un valor de  $76,48 \pm 5,98$  mN/m.

Tabla 14. Valores de energía libre superficial total y sus contribuciones polar y dispersiva, para tabletas de oleaginosas 1 y oleaginosas 2, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura, etilenglicol e isopropanol.

Materia Prima	Humectante	% Humectante	Energía libre superficial (mN/m)					
			SFE <sub>total</sub>	SFE <sup>d</sup>	SFE <sup>p</sup>	RQ	Schi	
Oleaginosas 1	Control	0	$30,06 \pm 2,36^a$	$7,766 \pm 1,14$	$22,293 \pm 3,51$	0,856	13,43	
		0,200	$33,846 \pm 6,6^{ab}$	$5,313 \pm 1,85$	$28,54 \pm 8,44$	0,872	13,44	
		0,800	$34,84 \pm 2,98^{ab}$	$3,746 \pm 1,29$	$31,096 \pm 4$	0,903	11,84	
	Lecitina	1,500	$43,003 \pm 3,43^b$	$2,58 \pm 0,54$	$40,423 \pm 3,91$	0,935	7,47	
		3,000	$52,043 \pm 12,46^a$	$2,186 \pm 1,64$	$49,86 \pm 14,04$	0,935	10,82	
		6,000	$24,07 \pm 4,47^a$	$8,17 \pm 2,91$	$15,9 \pm 7,3$	0,953	4,56	
	Glicerina	9,000	$30,01 \pm 4,45^a$	$6,976 \pm 1,8$	$23,033 \pm 5,97$	0,969	4,66	
		3,000	$84,546 \pm 1,94^b$	$0,023 \pm 0,02$	$84,523 \pm 1,97$	0,981	8,21	
		6,000	$31,493 \pm 3,51^a$	$5,12 \pm 2,17$	$26,373 \pm 5,41$	0,968	5,04	
	PEG 400	9,000	$30,11 \pm 4,51^a$	$4,15 \pm 1,77$	$25,96 \pm 6,28$	0,945	6,81	
		Control	0	$25,33 \pm 2,82^a$	$9,163 \pm 4,85$	$16,166 \pm 7,63$	0,804	14,71
		0,200	$29,063 \pm 3,94^a$	$6,163 \pm 1,23$	$22,903 \pm 5,14$	0,877	12,10	
Oleaginosas 2	Lecitina	0,800	$76,48 \pm 5,98^b$	$0,033 \pm 0,03$	$76,443 \pm 5,97$	0,923	13,42	
		1,500	$78,576 \pm 9,42^b$	$0,12 \pm 0,06$	$78,456 \pm 9,48$	0,948	11,36	
		3,000	$25,103 \pm 1,09^a$	$9,1 \pm 1,77$	$16,003 \pm 2,58$	0,798	15,26	
	Glicerina	6,000	$27,256 \pm 1,98^{ab}$	$7,853 \pm 3,51$	$19,406 \pm 5,46$	0,818	15,06	
		9,000	$37,116 \pm 8,6^b$	$5,11 \pm 2,49$	$32 \pm 11,07$	0,893	12,42	
		3,000	$26,083 \pm 5,25^a$	$6,946 \pm 2,66$	$19,136 \pm 7,9$	0,962	4,86	
	PEG 400	6,000	$27,846 \pm 3,76^a$	$5,723 \pm 1,31$	$22,123 \pm 5$	0,957	5,45	
		9,000	$25,483 \pm 2,29^a$	$7,326 \pm 1,99$	$18,156 \pm 3,6$	0,965	4,28	

Los valores se expresan como media  $\pm$  desviación estándar. Se observaron diferencias significativas en las medias de la energía libre superficial de los diferentes tratamientos con respecto al control ( $p < 0,05$ ). a, b, c Los valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , el análisis post-hoc de Tukey).

### 2.6.6 Tiempo de humectabilidad

Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 15 y 16. Para la presentación de datos se realizó una relación entre el tiempo para cada medida sobre el tiempo máximo registrado en las mediciones, representado como  $t/t_{\text{máx}}$ .

Tabla 15. Tiempo de humectación para tabletas de cereal claro y cereal oscuro, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura

Materia Prima	Clase de Humectante	% Humectante	Tiempo (s)	$t/t_{\text{máx}}$	
Cereal Claro	Control	0	91,333 ± 22,03	0,861 ± 0,2 <sup>a</sup>	
		0,200	31,333 ± 19,65	0,295 ± 0,18 <sup>b</sup>	
		0,800	50,333 ± 9,81	0,474 ± 0,09 <sup>ab</sup>	
	Lecitina	1,500	36,666 ± 4,5	0,345 ± 0,04 <sup>b</sup>	
		3,000	9,8 ± 5,37	0,092 ± 0,05 <sup>b</sup>	
		6,000	7,5 ± 5,64	0,07 ± 0,05 <sup>b</sup>	
		9,000	2,6 ± 0,6	0,024 ± 0 <sup>b</sup>	
		Glicerina	3,000	15,333 ± 12,7	0,144 ± 0,11 <sup>b</sup>
			6,000	5,333 ± 2,3	0,05 ± 0,02 <sup>b</sup>
	9,000		3,466 ± 0,92	0,032 ± 0 <sup>b</sup>	
	Cereal Oscuro	Control	0	1977,333 ± 44,41	0,274 ± 0 <sup>c</sup>
			0,200	3020 ± 138,56	0,419 ± 0,01 <sup>b</sup>
0,800			2390 ± 476,34	0,331 ± 0,06 <sup>b,c</sup>	
Lecitina		1,500	7200 ± 0	1 ± 0 <sup>a</sup>	
		3,000	2143,333 ± 609,12	0,297 ± 0,08 <sup>c</sup>	
		6,000	320 ± 69,28	0,044 ± 0 <sup>b</sup>	
		9,000	240 ± 0	0,033 ± 0 <sup>b</sup>	
		Glicerina	3,000	1698,333 ± 454,98	0,235 ± 0,06 <sup>a</sup>
			6,000	430,666 ± 159,92	0,059 ± 0,02 <sup>b</sup>
9,000			38,333 ± 13,57	0,005 ± 0 <sup>b</sup>	

Los valores se expresan como media ± desviación estándar. Se observaron diferencias significativas en las medias de la relación  $t/t_{\text{máx}}$  de los diferentes tratamientos con respecto al control ( $p < 0,05$ ). a, b, c Los valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , el análisis post-hoc de Tukey).

El tiempo de humectación para cereal claro  $91,333 \pm 22,03$  s, para cereal oscuro  $1977,333 \pm 44,41$ s, debido a que esta materia prima quedo en la superficie flotando; para oleaginosas 1 y 2 el tiempo fue de  $39,333 \pm 5,03$ s y  $39,333 \pm 1,03$  s, respectivamente.

Tabla 16. Tiempo de humectación para tabletas de oleaginosas 1 y oleaginosas 2, frente a tres humectantes con tres concentraciones de interés, evaluados en agua pura

Materia Prima	Clase de Humectante	% Humectante	Tiempo (s)	t / t máx.
<b>Oleaginosas 1</b>	Control	0	$39,333 \pm 5,03$	$0,424 \pm 0,05^a$
		0,200	$10,333 \pm 3,78$	$0,111 \pm 0,04^b$
	Lecitina	0,800	$7,666 \pm 1,15$	$0,082 \pm 0,01^b$
		1,500	$6,4 \pm 1,21$	$0,069 \pm 0,01^b$
		3,000	$20,666 \pm 1,52$	$0,223 \pm 0,01^b$
	Glicerina	6,000	$56,916 \pm 2,9$	$0,614 \pm 0,03^c$
		9,000	$90,226 \pm 2,56$	$0,974 \pm 0,02^d$
		3,000	$26,666 \pm 1,15$	$0,288 \pm 0,01^b$
	PEG 400	6,000	$23 \pm 0$	$0,248 \pm 0^b$
		9,000	$15,666 \pm 0,57$	$0,169 \pm 0^c$
Control		0	$39,333 \pm 1,03$	$0,119 \pm 0,01^{a,b}$
<b>Oleaginosas 2</b>	Control	0,200	$66 \pm 20,51$	$0,2 \pm 0,06^a$
		0,800	$36 \pm 5,56$	$0,109 \pm 0,01^b$
	Lecitina	1,500	$26,333 \pm 3,21$	$0,079 \pm 0^b$
		3,000	$50,883 \pm 10,32$	$0,154 \pm 0,03^a$
		6,000	$28,373 \pm 10,28$	$0,085 \pm 0,03^a$
	Glicerina	9,000	$29,863 \pm 18,01$	$0,09 \pm 0,05^a$
		3,000	$144,18 \pm 160,92$	$0,436 \pm 0,48^a$
		6,000	$111,97 \pm 124,3$	$0,339 \pm 0,37^a$
	PEG 400	9,000	$111,866 \pm 14,93$	$0,338 \pm 0,04^a$

Los valores se expresan como media  $\pm$  desviación estándar. Se observaron diferencias significativas en las medias de la relación  $t/t_{max}$  de los diferentes tratamientos con respecto al control ( $p < 0,05$ ). a, b, c Los valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , el análisis post-hoc de Tukey).

Con el proceso de pre-humectación de las materias primas, se encontraron los siguientes comportamientos en cuanto a la relación de tiempo de humectación, respecto del tiempo de humectación máximo. Para el cereal claro, se evidenció que todos tres agentes humectantes lograron disminuir la relación  $t/t_{\text{máx.}}$ , para Lecitina a una concentración del 0,2% se obtuvo  $0,295 \pm 0,18$ , lo que muestra diferencia significativa respecto del control ( $P < 0,05$ ); en el uso de Glicerina a una concentración del 3% con una diferencia significativa respecto del control ( $P < 0,05$ ) la relación de tiempo de humectación tuvo un valor de  $0,092 \pm 0,05$ ; finalmente para el uso de PEG 400 como agente humectante a una concentración de 3% se llegó a un valor de  $0,144 \pm 0,11$ .

Para el cereal oscuro con el uso de lecitina se evidenció un incremento en la relación  $t/t_{\text{máx.}}$ , pasando de  $0,274 \pm 0$  a  $0,419 \pm 0,01$  y finalmente hasta la concentración del 1,5% se registró un valor de  $1 \pm 0$ ; lo cual es congruente con lo evidenciado para el ángulo de contacto el cual tras haber incrementado la concentración de este humectante, no se logró disminuir significativamente. Este hecho puede atribuirse al tamaño de partícula del cereal claro, el cual es pequeño en comparación con la superficie en contacto; el contenido significativo de partículas finas constituye un efecto negativo sobre la humectabilidad y dispersabilidad de los alimentos en polvo (28).

Con el uso de glicerina como agente humectante, se encontró una disminución de la relación  $t/t_{\text{máx.}}$   $0,044 \pm 0$  y  $0,033 \pm 0$  siendo significativo estadísticamente ( $P < 0,05$ ) cuando la glicerina se encontraba en una concentración del 6 y 9%, respectivamente; sin embargo, entre estas dos concentraciones no se evidenció diferencia significativa ( $P > 0,05$ ). El mismo comportamiento se obtuvo para el uso de PEG 400 como humectante, a las concentraciones de 6 y 9%, se registró unos valores de  $t/t_{\text{máx.}}$  de  $0,059 \pm 0,02$  y  $0,005 \pm 0$ ; sin embargo en este caso, si hay diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) entre ambas concentraciones. Para las oleaginosas 1 se consiguió disminuir la relación  $t/t_{\text{máx.}}$  hasta  $0,111 \pm 0,04$  para lecitina a una concentración del 0,2% y con el PEG 400 a 3%, se registró

un valor de  $0,288 \pm 0,01$ , presentando diferencia significativa respecto del control ( $P < 0,05$ ). Con el uso de glicerina, para el caso de esta materia prima, se reafirmó el comportamiento del inicial descenso y luego aumento del ángulo de contacto al aumentar la concentración del humectante, así mismo la relación  $t/t_{max}$ . También presentó un mínimo de  $0,223 \pm 0,01$  a una concentración del 3% y un máximo de  $0,974 \pm 0,02$  a una concentración del 9%, con diferencias significativas entre todos los tratamientos ( $P < 0,05$ ). Finalmente para las oleaginosas 2, no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en ninguna concentración de los tres humectantes para el valor relacional de  $t/t_{máx}$ .

En la comparación de todos los tratamientos se encuentra que para el cereal claro con la adición de PEG 400 al 6%, es más significativa la disminución del tiempo de humectación ( $P < 0,05$ ), comparado con la opción de la lecitina de soja. Sin embargo, la Lecitina resulta mejor emplearla ya que su uso como un agente humectante de tipo natural para proporcionar humectación instantánea a formulaciones en polvo y reducir el tiempo de mezcla es muy bien conocido; se hace primordial incluir este tipo de humectante, por su contenido de fosfatidil colina, el cual ayuda a las funciones primarias del cerebro y es precursor biológico de la acetilcolina, importante para el funcionamiento cerebral (73), características que van de la mano con el uso del producto comercial. En el caso del cereal oscuro, se determina como agente humectante importante que promueve una humectación adecuada el PEG 400 a una concentración del 9%. Para las Oleaginosas clase 1, se tiene que con la humectación con PEG 400 al 3%, se consigue una disminución significativa del tiempo de humectación ( $P < 0,05$ ), comparado con la Lecitina al 0,2%. Para Oleaginosas 2, se encuentra que el agente humectante que logra promover la disminución del tiempo de humectación es la Lecitina al 0,8%.

### 2.6.7 Evaluación cualitativa de la selección de excipientes para Optimización de la Formulación

Tras la ejecución de todas las evaluaciones realizadas para determinar el agente humectante más indicado y su concentración, se efectuó la comparación del producto inicial, frente a la nueva formulación, encontrándose una mejora indiscutible desde la mezcla inicial sólida, lo cual se puede evidenciar en la Figura 14, hasta la dispersión del polvo en el agua, lo cual se evidencia en la Figura 15(b).

Como muestra la Figura 15 el producto reformulado (b) da cuenta de una mezcla mucho más homogénea, gracias a la acción de los humectantes, se forman aglomerados, y esto hace que la presentación visual sea más llamativa y homogénea, lo que no se evidencia en el producto inicial (a), donde se notas partículas de diferentes tamaños, presenciándose más cambios de color.

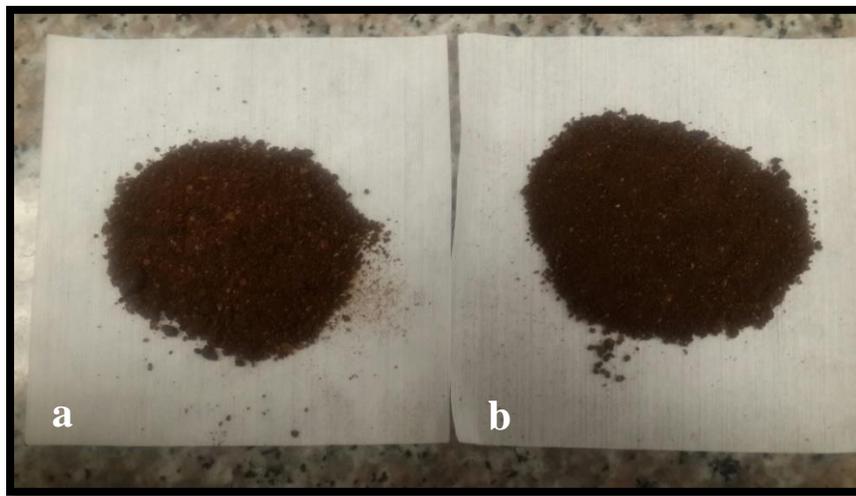


Figura 14. Comparativo del proceso de mezcla del producto comercial: (a) producto inicial, (b) producto reformulado

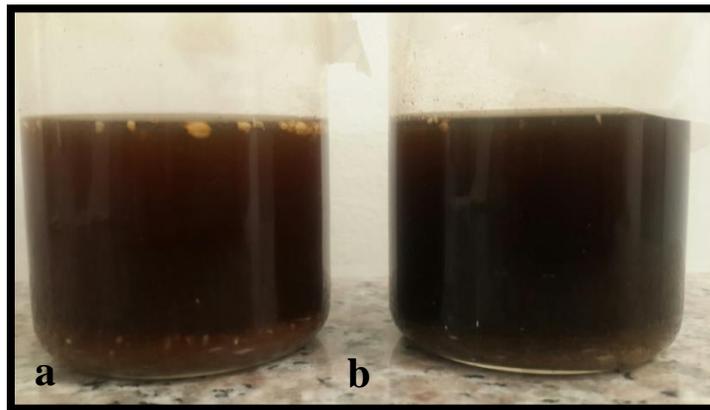


Figura 15. Comparativo del proceso de dispersión del producto comercial: (a) Producto inicial, (b) Producto reformulado

En la Figura 12, se evidencia el proceso de dispersión de las partículas para el producto inicial (a) y el producto reformulado (b). Se muestra como con la nueva formulación, se logra mayor dispersión de las partículas, la sedimentación disminuye, y la dispersión en el líquido se muestra más pareja que en la Figura (a). Por otro lado, se logra disolución de las partículas que antes eran problema, evidenciado a través de la coloración más fuerte que tiene el producto reformulado; esta coloración principalmente se debe a la disolución que se consiguió para los cereales claro y oscuro a través de la adición de los agentes humectantes, Lecitina de Soja y PEG 400, respectivamente. Otro aspecto destacable para productos de reconstitución instantánea, es el hecho de que en la parte superior no haya partículas flotando, y precisamente se consiguió tras el proceso de pre-humectación.

El producto reformulado consiguió un tiempo de humectabilidad de 36 segundos, comparado con el inicial que tuvo un tiempo de humectabilidad de 120 segundos. Con lo cual con la reformulación se consigue disminuir el tiempo de preparación, se debe tener en cuenta que esta prueba de tiempo de humectabilidad se realizó sin agitación, la cual promoverá aún más la dispersión de las partículas.

## 2.7 CONCLUSIONES

- La caracterización térmica mediante DSC permitió establecer los eventos térmicos más relevantes de cada materia prima y la no existencia de interacciones desfavorables entre ellas que afectara el producto.
- Se logró evaluar las características granulométricas de las materias primas en cuanto a su morfología de partícula, distribución de partícula, fluidez y compactación; convirtiéndose en uno de los parámetros para establecer las materias primas problema en la formulación del producto respecto a la dispersabilidad.
- Se consiguió determinar las propiedades termodinámicas de superficie para cada una de las materias primas, como el ángulo de contacto, trabajo de adhesión energía libre superficial.
- La escasa humectabilidad que presentaron el cereal claro, cereal oscuro, oleaginosas 1 y oleaginosas2, evaluados a través de la determinación del ángulo de contacto, trabajo de adhesión y tiempo de humectabilidad, fue el factor limitante del desempeño del producto en el proceso de dispersión.
- El proceso de pre-humectación para las materias primas detectadas con problemas de dispersión fue exitoso con el uso de agentes humectantes como la Lecitina de Soja a concentraciones del 0,2% y 0,8% y PEG 400 a unas concentraciones del 3% y 9%.
- La aglomeración generada por la adición de los agentes humectantes, Lecitina de Soja y PEG 400, tuvo un papel beneficioso en la humectabilidad de los polvos correspondientes a cereal claro, cereal oscuro, oleaginosas 1 y 2, en su dispersabilidad, homodispersidad y uniformidad, para mejorar la percepción del consumidor.

## 2.8 RECOMENDACIONES

Para el caso de los productos alimentarios 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.

Otro parámetro importante de evaluación es 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 diferir de los resultados de este estudio.

La medida y análisis de las propiedades finales, se puede efectuar a través de un análisis más profundo, determinando por ejemplo el perfil de sedimentación y la tasa de migración de las partículas, lo cual proporcionaría información sobre la efectividad del proceso de optimización y permitiría comparar los resultados.

### 3. REFERENCIAS

1. Villamor A. C. Influencia del ejercicio físico y dieta equilibrada sobre los niveles de Colesterol en la Infancia. 1995. Universidad Complutense de Madrid.
2. Lamas eO. Nutricion. Primera ed. López MEB, editor. Estado de Mexico: Red Tercer Milenio; 2012.
3. Foundation IS. Orthomolecular medicine for everyone. Orthomolecular Medicine. 2009 Diciembre; 24(3 y 4).
4. Minoru Arakakir LLTY. Mineral fasting based on ortho-molecular medicine for healthy weight control. Personalized medicine universe. 2013 Julio; 2: p. 28-33.
5. L. P. Orthomolecular psychiatry. Varying the concentrations of substances normally present in the human body may control mental disease. Science. 1968 Abril; 160(3825): p. 265-71.
6. Moral MPd. Búsqueda de nuevos ingredientes funcionales naturales procedentes de algas. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid, Quimica- Fisica Aplicada; 2010.
7. Janson M. Orthomolecular medicine: the therapeutic use of dietary supplements for anti-aging. Clinical Interventions in Aging. 2006 Septiembre; 1(6): p. 261 - 266.
8. Zarco A, Mora G, Pelcastre B, Flores M, Bronfman M. Aceptabilidad de los suplementos alimenticios del programa Oportunidades. Salud pública. 2006 Julio-Agosto; 48(4).
9. Barbosa G. ORE,JP&YH. Food Powders: Physical Properties, Processing and Functionality. Food Engineering Series. Kluwer Academic/. Barbosa Canovas GV, editor. New York: Kluwer Academic, Plenum Publishers; 2005.
- 1 Kumar A,ySK. Encapsulation of exemestane in polycaprolactone nanoparticles: optimization, 0. characterization, and release kinetics. Cancer Nanotechnology. 2013; 4(4-5): p. 57–71.
- 1 C. RB. Propiedades Funcionales de los Alimentos y su Importancia en la salud. Revista de 1. Trabajo Social Universidad de la Salle. 2004; 7.
- 1 Naranjo E VL. Revista Alimentos. [Online].; 2009 [cited 2015 Mayo 3. Available from: 2. <http://www.revistaalimentos.com.co/ediciones.htm>.
- 1 SANSILVESTRE A. El cliente «superinformado». Farmacia profesional. 2005 Enero; 19(1). 3.

- 1 Ltda MG. Maule Alimenta. [Online].; 2016 [cited 2016 Diciembre 16. Available from:  
4. <http://maulealimenta.cl/wp-content/uploads/2016/03/Mintel-tendencias-de-alimentacion-y-bebidas-2016.pdf>.
- 1 RODRIGUEZ' HB. La alimentación y la nutrición. Comercio exterior. 2001 Octubre;; p. 897-904.  
5.
- 1 Erem SY. Cómo lograr una vida saludable. An Venez Nutr. 2014 Junio; 27(1).  
6.
- 1 Rozo Bernal C. Propiedades funcionales de los alimentos y su importancia en la salud. Revista -  
7. Universidad de la Salle. 2004 Junio; 25(37): p. 87-96.
- 1 comunicaciones A. Revista I Alimentos. [Online].; 2016 [cited 2016 Noviembre 10. Available  
8. from: <http://revistaalimentos.com/ediciones/edicion9/informe-alimentos-funcionales/mercado-de-alimentos-funcionales.htm>.
- 1 Leal M, Guagliano ML, Rico APS. ESTUDIO PANORÁMICO DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA E  
9. INTELIGENCIA COMPETITIVA ALIMENTOS FUNCIONALES. 1st ed. Martín VC, Nim M, editors.  
Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva; 2016.
- 2 Diplock APAMBBFERM. Scientific Concepts of functional food in Europe: consensos document.  
0. Br J Nutr. 1999; 81(1): p. 1-27.
- 2 Masís PS. Alimentos funcionales: análisis general acerca de las características químico -  
1. nutricionales, desarrollo industrial y legislación alimentaria. Revista Costarricense de Salud  
Pública. 2001 Julio; 10(18-19): p. 34-39.
- 2 Moral MPd. Búsqueda de nuevos ingredientes funcionales naturales procedentes de algas. Tesis  
2. Doctoral. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid, INSTITUTO DE FERMENTACIONES  
INDUSTRIALES; 2010.
- 2 Correa MF. Pro Chile. [Online].; 2011 [cited 2016 Diciembre 17. Available from:  
3. [http://www.prochile.gob.cl/wp-content/files\\_mf/documento\\_11\\_15\\_11171113.pdf](http://www.prochile.gob.cl/wp-content/files_mf/documento_11_15_11171113.pdf).
- 2 T.A. Shittu MOL. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. Food  
4. Chemistry. 2007 Noviembre; 100(1).
- 2 Schubert H. LP,MY,OJ,LJ. Processing and properties of instant powdered food. In Food Process  
5. Engineering. 1980; 1(1).
- 2 Sceni MRyP. La Química en los alimentos. 1st ed. Kirschenbaum JM, editor. Buenos Aires:

6. Ministerio de Educación de la Nación; 2009.
- 2 Schubert H. Principles of agglomeration. *Int. Chem. Eng.* 1981; 21(3): p. 363–377.
- 7.
- 2 Hammes M. V. EAH,ZNCPyMCNS. Study of the influence of soy lecithin addition on the wettability of buffalo milk powder obtained by spray drying. *Powder Technology*. 2015 Junio; 277: p. 237–243.
- 2 W. P. Readily engineer agglomerates with special properties from micro- and nanosized particles. *Chem. Eng. Progress*. 1999 Agosto; 95(8): p. 67–81.
- 3 Yuan Y LTR. Contact angle and wetting properties. In *Surface science techniques*. 2013;; p. 3-34.
- 0.
- 3 S. SURIÑACH MDBSBNCMTCM. La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la Ciencia de Materiales. *BOL. SOC. ESP. CERAM. VIDR.* 1992 Febrero; 31(1).
- 3 Hugo SC. Laboratorio de diseño y formulación de producto Practica No. 1: Caracterización física de formulaciones sólidas en polvo. 2016. universidad Icesi, Maestría en Formulación de Productos químicos y derivados.
- 3 Britain APAaTPSoG. *Handbook of Pharmaceuticals Excipients USA*: Pharmaceutical Press ; 2006.
- 3.
- 3 Staniforth J. Powder flow. *Pharmaceutics The Science of Dosage Form Design*. Pharmaceutics 4. *The Science of Dosage Form Design* ed. Livingstone C, editor. London : M. E. Aulton; 2002.
- 3 Martin PByAHCC. “Physical Pharmacy. Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences”. 4th ed. Philadelphia: Lea and Febiger; 1993.
- 3 Oliva M. Open Course Ware. [Online].; 2000 [cited 2016 Diciembre 1. Available from: 6. <http://ocw.ub.edu/farmacia/tecnologia-farmaceutica-i/fitxers/temes/T.04->.
- 3 Mahato RI,&NAS. *Pharmaceutical Dosage Forms and Drug Delivery*. Second ed. USA: CRC Press; 7. 2012.
- 3 Carneiro-da-Cunha M. G. CMA,SBWS,SMP,TJAyVAA. Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale*. *Food Eng.* 2009; 95: p. 379-85.
- 3 Plata udl. SEDICI. [Online].; Sin año [cited 2016 12 1. Available from: 9. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2685/4 -  
\\_Evaluaci%C3%B3n de propiedades fisicoqu%C3%ADmicas de sustratos.pdf?sequence=9](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2685/4_-_Evaluaci%C3%B3n_de_propiedades_fisicoqu%C3%ADmicas_de_sustratos.pdf?sequence=9).

- 4 Kwok DY, Neumann AW. Contact angle measurement and contact angle interpretation. 0. *Advances in Colloid and Interface Science*. 1999; 81: p. 167-249.
- 4 Wendt ODR. Estimation of the Surface Free Energy of Polymers. *J. Appl. Polym. Sci.* 1969; 13: p. 1. 1741-1747.
- 4 Vila JL. *Tecnología Farmacéutica* Madrid: Sintesis S.A.; 2008. 2.
- 4 A. C. Chefuri. [Online].; 2002 [cited 2016 Abril 24. Available from: 3. <http://www.chefuri.net/usuarios/download/recopilacion/recopilacion.pdf>.
- 4 Herrera GC,. RMB. *Química física interfacial de emulsificantes alimentarios. Parte I. Solubilidad e* 4. *Interacción con medios acuosos. Resumen*. Sevilla: Instituto de la grasa sus derivados; 1.
- 4 Lu X. LQyWZ. Laser induced periodic structure on lecithin-doped polyimide film surface and its 5. ability to align liquid crystal molecules. *Polyme*. 2003; 44: p. 4501–4507.
- 4 Turchiuli CaCCE. Agglomerates Structure Characterization Using 3D-Image Reconstruction. Part. 6. *Part. Syst. Charact.* 2009 Abril; 26(1-2): p. 25–33.
- 4 Salvador Badui Dergal NMRRPI. *Ingredipedia*. [Online].; 2013 [cited 2016 Diciembre 13. Available 7. from: <http://www.hablemosclaro.org/ingredipedia/lecitina-de-soya.aspx#.WFg2iFXhDIU>.
- 4 Klaus Weissemel HJA. *Química orgánica industrial*. 2nd ed. Barcelona: Reverte S.A; 1981. 8.
- 4 Christopher G J Baker MDRRCK. *Food Industries Manual*. 24th ed. London: Chapman & Hall; 17. 9.
- 5 Association TSaD. *Aciscience*. [Online].; 1990 [cited 2016 Mayo 12. Available from: 0. <http://www.aciscience.org/docs/glycerine - an overview.pdf>.
- 5 Estrada GAR. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE LIBERACIÓN DE FÁRMACOS BASADO EN 1. NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS RECUBIERTA CON POLIETILÉNGLICOL PARA EL TRATAMIENTO DE DIFERENTES ENFERMEDADES. Memoria. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Física Aplicada; 2014.
- 5 Rito-Palomares KPMDyM. Proteínas PEGiladas: producción, purificación y aplicaciones. *Revista 2. mexicana de ingeniería química*. 2010 abril; 9 (1).
- 5 Niro GEA. GEA. [Online].; 1979 [cited 2016 Agosto 10. Available from: 3. [http://www.gea.com/en/binaries/A%205%20b%20-%20Wettability%20IDF%20Method\\_tcm11-](http://www.gea.com/en/binaries/A%205%20b%20-%20Wettability%20IDF%20Method_tcm11-)

[30910.pdf](#).

- 5 Angela GD. Plan de Negocios para la creación de la empresa Biomarket & Nutrition en la ciudad de Cali. Plan de negocio. Cali: Servicio nacional de Aprendizaje SENA, Fondo Emprender; 2015.
- 5 I. BM. Obtención de hidrolizados proteicos a partir de Cebada Agotada.. Trabajo de Grado. 5. Argentina: Universidad Fasta , Departamento de Metodología de la Investigación; 2011.
- 5 Gerardo A. Calidad industrial de la cebada cervecera. 18th ed. INIA UdDeITd, editor. Uruguay: 6. INIA ; 1991.
- 5 Bibi S. BDH,MHM,RR,SK,TA,WS,SIJyMKH. A preliminary investigation to group disparate 7. batches of licit and illicit diazepam tablets using differential scanning calorimetry. The Royal Society of Chemistry. Agosto 2015.
- 5 Colombo A. RPDyLAE. Differential Scanning Calorimetry (DSC) Studies on the Thermal Properties 8. of Peanut Proteins. J. Agric. Food Chem. 2010; 58: p. 4434–4439.
- 5 Kain R. J. CZSTSaAKJC. Study on the Effects of Enzymatic Hydrolysis on the Physical, Functional 9. and Chemical Properties of Peanut Protein Isolates Extracted from Defatted Heat Pressed Peanut Meal Flour (Arachis hypogaea L. Pakistan Journal of Nutrition. 2009; 8: p. 818-825.
- 6 Eleazar M E. SSH,MACyMGG. Simplified process for the production of sesame protein 0. concentrate. Differential scanning calorimetry and nutritional, physicochemical and functional properties. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2003; 83: p. 972–979.
- 6 Nzikou J.M. MtM,NCB,PTNPG,KALB,STyDS. Characterization of Seeds and Oil of Sesame 1. (Sesamum indicum L.) and the Kinetics of Degradation of the Oil During Heating. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2010; 2(3): p. 227-232.
- 6 Brennan J. G. BJR,CNDyLAE. Las operaciones de la Ingeniería de Alimentos. Tercera ed ed. 2. Gonzalez JB, editor. Zaragoza: Acribia; 1998.
- 6 United States Pharmacopeia and National Formulary USP 36/NF 31. 2013.. 3.
- 6 Marquez AK. Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo. [Online].; 2007 [cited 2016 4. Diciembre 2. Available from: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/604/Elaboracion%20y%20evaluacion%20producto%20cebada.pdf?sequence=1>.
- 6 Drakos A. KG,EV,PS,MlyRC. Influencia de la molienda de chorro y tamaño de partícula de la composición, propiedades fisicoquímicas y mecánicas de cebada y centeno harinas. Química de

5. Alimentos. 2017; 215: p. 326-332.
- 6 Limones K, Garcia MC. Elaboración de sopa instantánea a partir de Harina de Chocho *Lupinus mutabilis* sweet. Informe de proyecto de graduación. Guayaquil: Escuela superior politecnica del litoral, Facultad de ingeniería e mecánica ciencias de la producción; 2011.
- 6 Cano-Chuaca M, Stringheta PC, Ramos AM, Cal-Vidal &. Effect of carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food science & Emerging technologies*. 2005; 6(4): p. 420- 42.
- 6 B. HSYM. Wetting and rheological characteristics of hydrophobic organic pigments in water in the presence of non-ionic surfactants. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2014; 455(5): p. 58–66.
- 6 S. MSyC. La humectación y la adsorción de los tensioactivos no iónicos basados acetilénicos y de diol en superficies heterogéneas. *Surf coloides*. 2002; 206: p. 497-513.
- 7 Lewis MJ. *Propiedades físicas de los alimentos y sus sistemas de procesamiento* Zaragoza: Acribia Editorial; 1993.
- 7 Alvarado GÁ, Ochoa L. Tecnologías locales de producción de arracacha (*arracacia xanthorrhiza* bancroft) en el municipio de Boyacá. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 2010 Mao; 3(1): p. 125-133.
- 7 S.S. S. *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales AGT*, editor. Mexico, D.F; 2001.
- 7 S. TGJyD. Revisión Fosfolípidos: Propiedades y efectos sobre la salud. *Nutr Hosp*. 2015; 31(1): p. 76-83.
- 7 Sebastian PV. Posibilidades de penetración al mercado colombiano con alimentos funcionales. Proyecto de Grado. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia, Ingeniería Administrativa; 2012.
- 7 Mínguez MI, Galvez AP. *Agrocsic*. [Online].; Características químicas nutricionales y funcionales de los alimentos [cited 2016 Diciembre 17. Available from: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/5756/1/IG\\_AGROCSIC\\_5.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/5756/1/IG_AGROCSIC_5.pdf).
- 7 Dupas J FLRM. Powder wettability at a static air–water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2015; 44: p. 51-56.
- 7 M. CPA. Estudio Comparativo de tres sistemas de Secado para la Producción de un polvo deshidratado de fruta. Tesis de Grado. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, Facultad

7. de Igeieria; 2008.

7 Olmo M, Nave R. Tensión Superficial. Georgia: Universidad del Estado de Georgia,  
8. Departamento de Física y Astronomía; 2010.

7 Suriñach S, Baro D, Bordas S, Clavaguera N, Clavaguera N. La calorimetría diferencial de barrido  
9. y su aplicación a la ciencia de materiales. Bol Soc Esp Ceram Vidr. 1992;; p. 11-17.

8 Mata Antonio Castellanos QMÁSMJMV, inventor; Procedimiento y dispositivo para medir el  
0. ángulo de fricción y la cohesión de medios granulares. España patent WO2007042585 A2. 2007  
Abr 19.

## ANEXOS

### Anexo 1 Ficha Técnica Cereal Claro



**HOJA DE ESPECIFICACIÓN E INFORMACIÓN NUTRICIONAL**  
**BARLEYCHOC LIGHT**

**COD HME - 006**

**DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO**  
El extensor de cacao para bebidas es un producto 100% natural, elaborado a partir de cebadas maltadas con diferentes procesos de tostados para obtener color, sabor y aroma característico a cacao.  
Declaración de ingredientes: Cebada maltada

**APLICACIONES:**  
Extensor de cacao para la preparación de bebidas sabor chocolate

**ESPECIFICACIONES DE CALIDAD**  
Información de alérgenos: Contiene gluten

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS**

Apariencia	Polvo fino de color característico a cacao
Aroma	Suavemente tostado
Sabor	Sabor amargo característico cacao y grano tostado.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUÍMICAS**

	RANGO	UNIDAD
Humedad	Más. 5.0	%
pH	Más. 6.0	--
Acidez	Más. 20	ml NaOH /100g
Alfa amilasa	Negativo	UI
Poder Diastásico	Negativo	*WK
Tamiz	90% <150 micras	micras

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLOGÍA**

Aeróbicos Mesófilos	Más. 3000	u/c/g
Hongos	Más. 500	u/c/g
Levaduras	Más. 500	u/c/g
Enterobacterias	Más. 1000	u/c/g

**METALES PESADOS A LA MATERIA PRIMA**

Aséñico *	Más. 0.5	mg/kg
Mercurio *	Más. 0.05	mg/kg
Plomo *	Más. 0.2	mg/kg
Cadmio *	Más. 0.1	mg/kg
Zinc *	Más. 25	mg/kg

\* Valor monitoreado por el sistema de control de calidad de MALTExCO. No se entrega en el certificado de análisis.

**INFORMACIÓN NUTRICIONAL** (Valor referencial en 100 gramos en base seca):

Calorías	392	Kcal/100g
Proteína	7.19	%
Grasa total	3.95	%
Fibra cruda	5.21	%
Cenizas	1.77	%
Hidratos de carbono	81.85	%
Fibra dietaria total	14.49	%
Fibra dietaria soluble	2.82	%
Fibra dietaria insoluble	11.68	%

**ENVASE Y ALMACENAMIENTO**  
Envase: Balsa de papel kraft natural de doble pliego con bolsa interior de polietileno. Contenido neto 20 Kg.  
Posibilidad de envasado diferente de acuerdo a requerimientos específicos de clientes.  
Conservación y Vida Útil: En envase original, 18 meses desde su fecha de elaboración. Almacenado y transportado en un lugar fresco, seco, limpio, libre de plagas y de aromas extraños. Temperatura máxima 30°C; Humedad relativa ambiental 50%.

**ROTULACIÓN:**

- Nombre de producto	- Fecha de vencimiento	- Peso neto
- Lote	- Vida útil	- Referencias del Fabricante
- Fecha de Elaboración	- Peso bruto	

Preparado por	Aprobado por	Fecha de aprobación	Página	Rev N°
Asistente de aseguramiento de calidad	Sub gerente de aseguramiento de calidad	Enero 2012	1	3

## Anexo 2 Ficha Técnica Cereal Oscuro



**HOJA DE ESPECIFICACIÓN E INFORMACIÓN NUTRICIONAL**  
**BARLEYCHOC DARK**

**COD HME - 007**

**DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO**  
BarleyChoc Dark es un producto 100% natural, elaborado a partir de cebadas maltadas con diferentes procesos de tostados para obtener color característico de cacao oscuro, sabor y aroma suaves.  
Declaración de ingredientes: Cebada Maltada

**APLICACIONES:**  
Extensor de cacao negro para la preparación de quesos, brownies, galletas y cualquier producto horneado.

**ESPECIFICACIONES DE CALIDAD**

Información de alérgenos: Contiene gluten

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS**

Apariencia	Polvo fino de color oscuro
Aroma	Suavemente tostado
Sabor	Suave sabor amargo con tonos tostados.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUÍMICAS**

	RANGO	UNIDAD
Humedad	Máx. 5,0	%
pH	Máx. 5,0	--
Acidez	Máx. 20	ml NaOH/100g
Alfa amilasa	Negativo	UD
Poder Diastáseo	Negativo	*WK
Tamiz	90% <150 micras	Micras

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLOGIA**

Aerobios Mesófilos	Máx. 3000	u/c/g
Hongos	Máx. 500	u/c/g
Levaduras	Máx. 500	u/c/g
Enterobacterias	Máx. 1000	u/c/g
Salmonella	ausencia/25 g	--

**METALES PESADOS A LA MATERIA PRIMA**

Aséptico *	Máx. 0,5	mg/kg
Mercurio *	Máx. 0,05	mg/kg
Plomo *	Máx. 0,2	mg/kg
Cadmio *	Máx. 0,1	mg/kg
Zinc *	Máx. 25	mg/kg

\* Valor monitoreado por el sistema de control de calidad de MALTEXCO. No se entrega en el certificado de análisis.

**INFORMACIÓN NUTRICIONAL (Valor referencial en 100 gramos en base seca):**

Calorías	398	Kcal/100g
Proteína	10,3	%
Grasa total	3,1	%
Fibra cruda	3,1	%
Cenizas	1,4	%
Hidratos de carbono	82,1	%

**ENVASE Y ALMACENAMIENTO**  
Envase: Bolsa de papel kraft natural de doble pliego con bolsa interior de polietileno. Contenido neto 20 Kg.  
Posibilidad de envasado diferente de acuerdo a requerimientos específicos de clientes.  
Conservación y Vida Útil: En envase original, 18 meses desde su fecha de elaboración. Almacenado y transportado en un lugar fresco, seco, limpio, libre de plagas y de aromas extraños. Temperatura máxima 30°C; Humedad relativa ambiental 50%.

**ROTULACIÓN:**

- Nombre de producto	- Fecha de vencimiento	- Peso neto
- Lote	- Vida útil	- Referencias del Fabricante
- Fecha de Elaboración	- Peso bruto	

Preparado por	Aprobado por	Fecha de aprobación	Página	Rev N°:
Asistente de aseguramiento de calidad	Sub gerente de aseguramiento de calidad	Abril 2012	1	1

### Anexo 3 Ficha técnica extracto de malta



**HOJA DE ESPECIFICACIÓN E INFORMACIÓN NUTRICIONAL  
EXTRACTO DE MALTA POLVO MI00**

**COD E-003**

**DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO**  
Es una mezcla de monosacáridos y polisacáridos principalmente maltosa y glucosa que resultan de la hidrólisis enzimática de la cebada malteada. Se obtiene a través del proceso de secado del extracto de malta líquido, en equipos especialmente diseñados para ello. Al ser en polvo, es ideal como ingredientes en aquellos productos alimenticios cuya elaboración se realiza a partir de una mezcla de materias primas secas.

Declaración de ingredientes: Cebada malteada

**APLICACIONES:**

Panadería	Pastelería y Confeitería	Industria Farmacéutica
-----------	--------------------------	------------------------

**ESPECIFICACIONES DE CALIDAD**

Información de alérgenos: Contiene gluten

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS**

Apariencia	Polvo de color beige claro	
Aroma	Agradable y característico.	
Sabor	Agradable y característico.	

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS**

	RANGO	UNIDAD
Humedad	2.0 - 5.0	%
pH (sol. 10%)	Máx. 5.0	--
Adidez	Máx. 20.0	ml NaOH [0.1N]/100g de muestra
Azúcares reductores	Mín. 50.0	% Maltosa
Proteína (N*6,25)	Máx. 5.0	%

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLOGÍA**

RAM	Máx. 10.000	ufc/g
Hongos y levaduras	Máx. 100	ufc/g
Coiformes totales	Máx. 100	ufc/g
E.coli	Máx. 3	nmp/g
Salmonella	0/25 g	--

**METALES PESADOS A LA MATERIA PRIMA**

Aséñico *	Máx. 0.5	mg/kg
Mercurio *	Máx. 0.05	mg/kg
Ploño *	Máx. 0.2	mg/kg
Cadmio *	Máx. 0.1	mg/kg
Zinc *	Máx. 25	mg/kg

\* Valor monitoreado por el sistema de control de calidad de MALTExCO. No se entrega en el certificado de análisis.

**INFORMACIÓN NUTRICIONAL (Valor referencial en 100 gramos):**

Calorías	381	Kcal/100g
Humedad	2.9	%
Proteína	4.6	%
Materia Grasa	0.1	%
Fibra cruda	0.1	%
Cenizas	1.8	%
Hidratos de carbono	90.7	%

**ENVASE Y ALMACENAMIENTO**

Envase: Sacos de papel multiplego con bolsa interior de polietileno. Contenido neto 30 Kg.  
Posibilidad de envasado diferente de acuerdo a requerimientos específicos de clientes, favor consultar

Conservación y Vida Útil: En envase original, la vida útil es de 12 meses.  
El transporte y el almacenamiento deben ser en lugares limpios, libres de plagas y de aromas extraños.  
Temperatura máxima 30°C; Humedad relativa ambiental 50%.

**ROTULACIÓN:**

- Nombre de producto	- Fecha de vencimiento	- Referencias del Fabricante
- Batch	- Vida útil	
- Fecha de producción	- Peso neto	

Preparado por	Aprobado por	Fecha de aprobación	Página	Rev N°
Asistente de Anag. de calidad	Jefe de Anag. de calidad	Octubre 2010	1 of 1	8

## Anexo 4 Ficha técnica estabilizante

### PRODUCT DATA SHEET



### KELTROL® TF XANTHAN GUM

Document No.: 104-X  
Effective Date: 31 Jul 2009

<b>Description</b>	KELTROL TF is a clarified 200-mesh food-grade xanthan gum suitable for use in food preparations that require both rapid hydration and high clarity. KELTROL TF is suitable for use in food preparations in, amongst other regions, the USA, and the European Union. (Refer to Regulatory Information Section below)
<b>Features</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• provides clear solutions</li> <li>• imparts high solution viscosity at low gum concentrations</li> <li>• has pseudoplastic rheology profile (e.g., is shear thinning)</li> <li>• exhibits little solution viscosity change over a wide temperature range</li> <li>• compatible with and stable in solutions containing high salt concentrations</li> <li>• soluble and stable in both acid and alkaline conditions</li> <li>• exhibits synergistic increase in viscosity when used with guar and locust bean gum</li> <li>• hydrates faster than standard 80-mesh grades when well dispersed</li> </ul>
<b>Benefits</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• can be used in applications where high clarity is desired</li> <li>• provides excellent suspension for insoluble solids and oil droplets</li> <li>• provides freeze-thaw stability</li> <li>• exhibits low viscosity while processing (e.g., pumping)</li> <li>• fully recovers viscosity after shearing</li> <li>• performs well in dry mixes where rapid hydration with minimal mixing is required</li> </ul>
<b>Typical Applications</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dry mixes</li> <li>• clear marinades</li> <li>• soups</li> </ul>
<b>Typical Use Level</b>	KELTROL TF xanthan gum is typically used at a level of 0.05 - 0.5 wt%.
<b>Dispersion/Hydration</b>	KELTROL TF xanthan gum will rapidly hydrate in most water-based systems because it is completely soluble in both hot and cold water. Direct addition of KELTROL TF to water is not recommended, as its fast hydration characteristics can result in the formation of lumps. Solutions are usually made by dispersing KELTROL TF in either an oil or water miscible solvent, such as a glycol or a low molecular weight alcohol, and then adding to the water phase. Alternatively, KELTROL TF xanthan gum can be dry mixed with a powder such as sugar before dispersion in the aqueous phase.
<b>Standard Packaging</b>	Packed in 25-kg double walled corrugated boxes with polyethylene liners (21 CFR §177.1520). All packaging material complies with relevant UK, EU and US food contact legislation.
<b>Ingredient/Labeling</b>	KELTROL TF xanthan gum Food grade xanthan gum, CAS: 11138-66-2; E415 For use as a stabilizer, thickener, or emulsifier Kosher approved; Halal approved
<b>Regulatory Information</b>	Xanthan gum complies with requirements contained in the following regulations and standards: <i>Food Chemicals Codex</i> , 21 CFR § 172.695 (USA), <i>Canadian Food and Drug Law</i> (Item X.1, Table IV), JECFA, the purity criteria in the current EC Directive, 1829/2003/EC, and Japan's <i>Specifications and Standards for Food Additives</i> .
<b>Storage Conditions/ Shelf Life</b>	Store in a roofed and well-ventilated area in the unopened original package. Functional properties of the product are guaranteed to conform with the stated sales specifications for 1095 days from the date of manufacture when stored under these conditions. Product quality should be re-evaluated prior to use if this "Best Before" date has been exceeded.
<b>Quality System</b>	Manufactured according to a Quality System registered to ISO 9001:2000.

**KELTROL® TF XANTHAN GUM**

Document No.: 104-X

Effective Date: 31 Jul 2009

**Specifications**

<u>Property</u>	<u>Requirement</u>	<u>Test Method</u>
Particle Size	Tyler Standard Screen Scale, Ro-Tap	KTM146
- 80 mesh (180 µm)	Not less than 100% through	
- 200 mesh (75 µm)	Not less than 92% through	
Loss on Drying	6 – 14%	KTM003
Powder Color	Not less than 82	KTM006
Viscosity		KTM017
- 1% gum in 1% KCl (80 rpm)	1200 – 1600 mPa·s (cP)	
Solution pH		KTM005
- 1% gum in DI water	For information only	
- 0.25% gum in Synthetic Tap Water	For information only	
Transmittance		KTM087
- 1% gum in DI water (600 nm)	Not less than 85%	
Heavy Metals	Not more than 20.0 mg/kg (ppm)	KTM514
Lead	Not more than 2.0 mg/kg (ppm)	KTM514
Arsenic	Not more than 3.0 mg/kg (ppm)	KTM514
Bacteria*	Not more than 2,000 cfu/g	KTM800
Yeast	Not more than 100 cfu/g	KTM803
Mold	Not more than 100 cfu/g	KTM803
Coliform	Negative by Most Probable Number (MPN)	KTM801
<i>Escherichia coli</i>	Absent in 25 g	KTM802
<i>Salmonella</i> spp.	Absent in 25 g	KTM804
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absent in 1.0 g	KTM806
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Absent in 1.0 g	KTM807

\* Total viable mesophilic aerobic count, 48 hr incubation

**METHODS OF TESTING** (Full details of test methods are available upon request)

**Particle Size (KTM146)**

Shake 50 g product on 80 and 200 mesh (180 and 75 µm) Tyler Standard Screens for 20 minutes using a Ro-Tap sieve shaker.

**Loss on Drying (KTM003)**

Spread 3-5 g product evenly on a tared weighing pan and weigh accurately. Dry in an oven at 105°C for 2½ hours. Cool in a desiccator and reweigh.

**Powder Color (KTM006)**

Standardize a Photovolt reflectometer (equipped with a green tristimulus filter in the search unit) using a white standard plaque with a reflectance between 85 and 90%. Fill a glass cuvette approximately 2/3 full with sample and tap gently to settle the powder. Using the press, firmly compact the powder, eliminating air pockets. Place the cuvette on the search unit and cover the cuvette with the black cavity standard. Record the reflectometer reading.

**Viscosity (KTM017)**

Slowly add a dry blend of 2.5 g product and 2.5 g KCl to 245 mL deionized water in a 400-mL beaker while stirring at 800 rpm using a low-pitched propeller-type stirrer. After stirring for 2 hours at 800 rpm, adjust the

**KELTROL® TF XANTHAN GUM**

Document No.: 104-X

Effective Date: 31 Jul 2009

temperature of the solution to 25°C (77°F), and measure the viscosity using the LV model of the Brookfield viscometer at 60 rpm with a #3 LV spindle.

**Solution pH (KTM005)****- 1% Gum in DI Water**

Slowly add 3 g product to 297 mL deionized water in a 400-mL beaker while stirring at 800 rpm using a low-pitched, propeller-type stirrer. After stirring for 30 min, measure the pH of this solution using a pH meter.

**- 0.25% Gum in Synthetic Tap Water**

Slowly add 0.75 g product to 299 mL Synthetic Tap Water (deionized water containing 1000 ppm NaCl and 147 ppm CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) in a 400-mL beaker while stirring at 800 rpm using a low-pitched, propeller-type stirrer. After stirring for 2 hours measure the pH of this solution using a pH meter.

**Transmittance (KTM087)**

Slowly add 2 g product to 198 mL deionized water in a 400-mL beaker while stirring at 800 rpm using a low-pitched, propeller-type stirrer. After stirring for 2 hours, centrifuge the solution at 3,000-4,000 rpm for 10 minutes. Measure the transmittance using a Bausch and Lomb Spectronic 215, or other suitable spectrometer, at 600 nm. Use deionized water as the 100% transmittance standard.

**Heavy Metals, Lead, Arsenic (KTM514)**

Follow the procedures given in the current edition of *Food Chemicals Codex*.

**Bacteria (KTM800), *Staphylococcus aureus* (KTM806), *Pseudomonas aeruginosa* (KTM807)**

Follow the procedures as given for microbial limit tests in the current edition of the *United States Pharmacopoeia*.

**Coliform (KTM801), Yeast and Mold (KTM803)**

Follow procedures as given for microbial limits in the current edition of the U.S. Food and Drug Administration's *Bacteriological Analytical Manual for Foods*.

***Salmonella* spp. (KTM804), *Escherichia coli* (KTM802)**

Test method is available upon request.

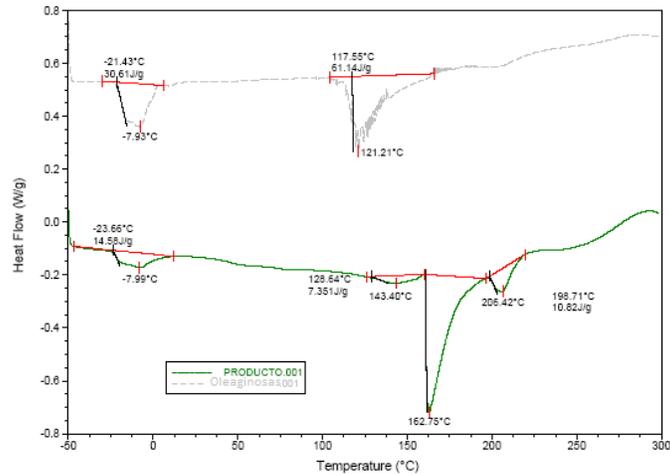
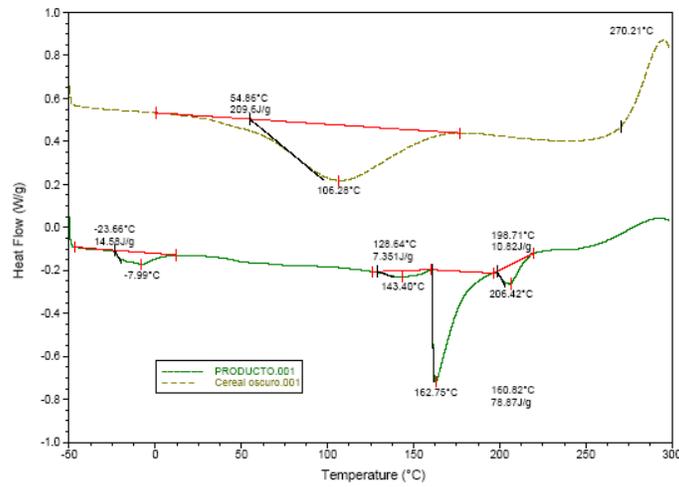
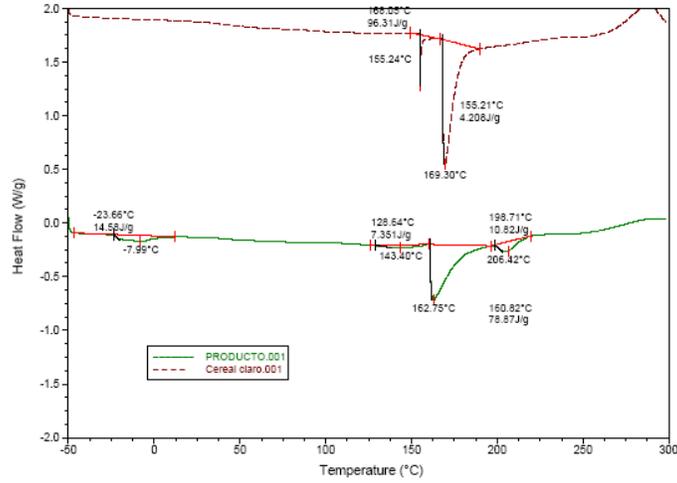
**NOTE:** CP Kelco reserves the right to use company test methodology.

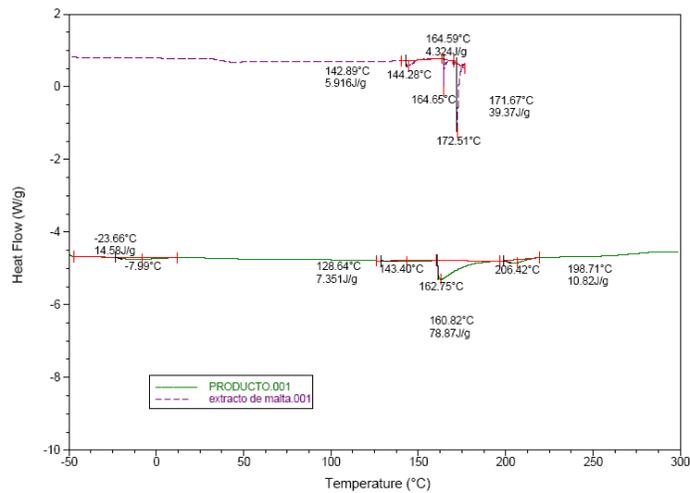
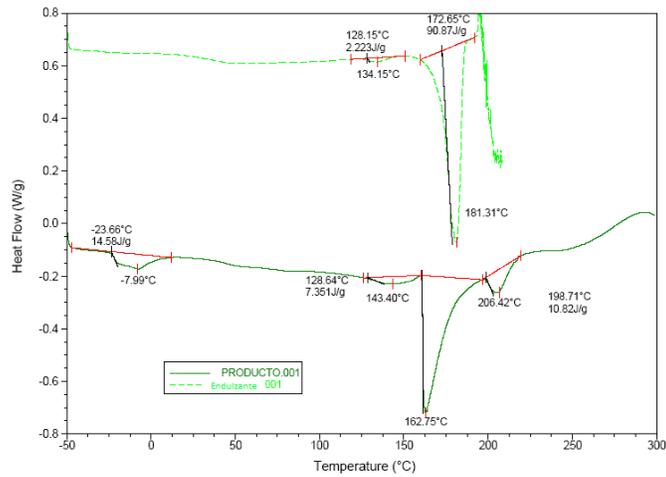
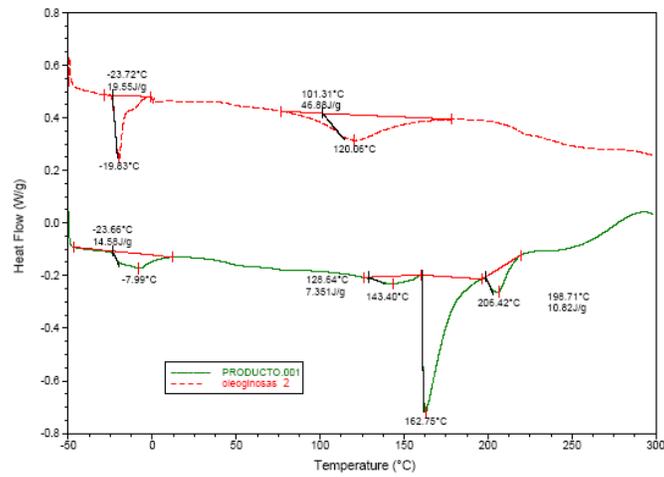
The information contained herein is, to our best knowledge, true and accurate, but all recommendations or suggestions are made without guarantee, since we can neither anticipate nor control the different conditions under which this information and our products are used. Each manufacturer should evaluate their final products to determine compliance with all relevant federal, state and local regulations. Further we can disclaim all liability with regard to its customers' infringement of third party intellectual property including, but not limited to, patents. We recommend that our customers apply for licenses under any relevant patents. No statement herein or by our employees shall be construed to imply the non-existence of relevant patents or as a recommendation or inducement to infringe said patents. It is our policy, however, to assist our customers and to help in the solution of particular problems which may arise in connection with applications of our products.

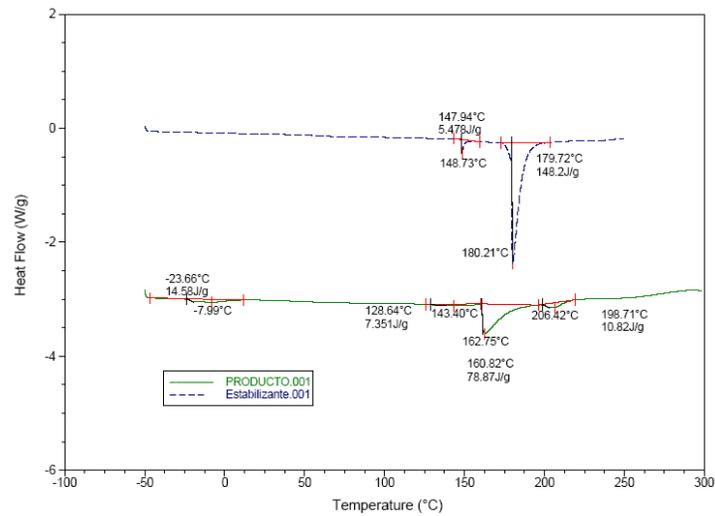
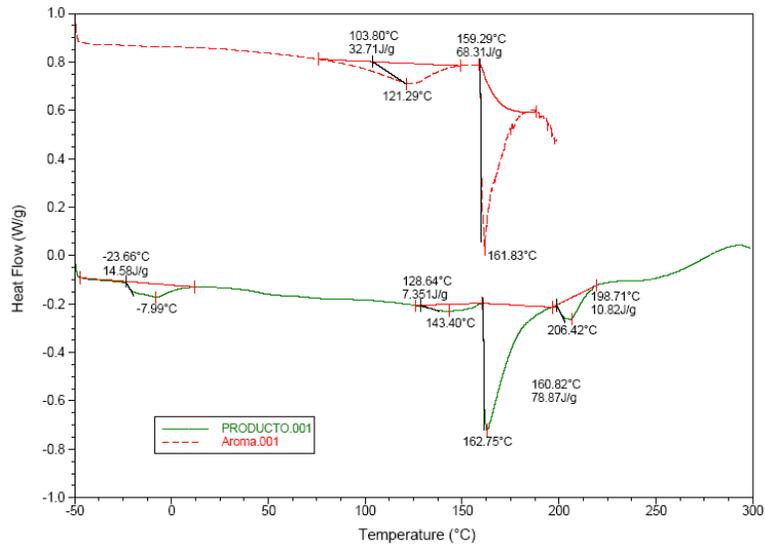
KELTROL® is a registered trademark of CP Kelco ApS and/or CP Kelco U.S., Inc. and may be registered or applied for in other countries.  
© CP Kelco ApS 2009

[www.cpkelco.com](http://www.cpkelco.com)  
A HUBER COMPANYe-mail: [solutions@cpkelco.com](mailto:solutions@cpkelco.com)

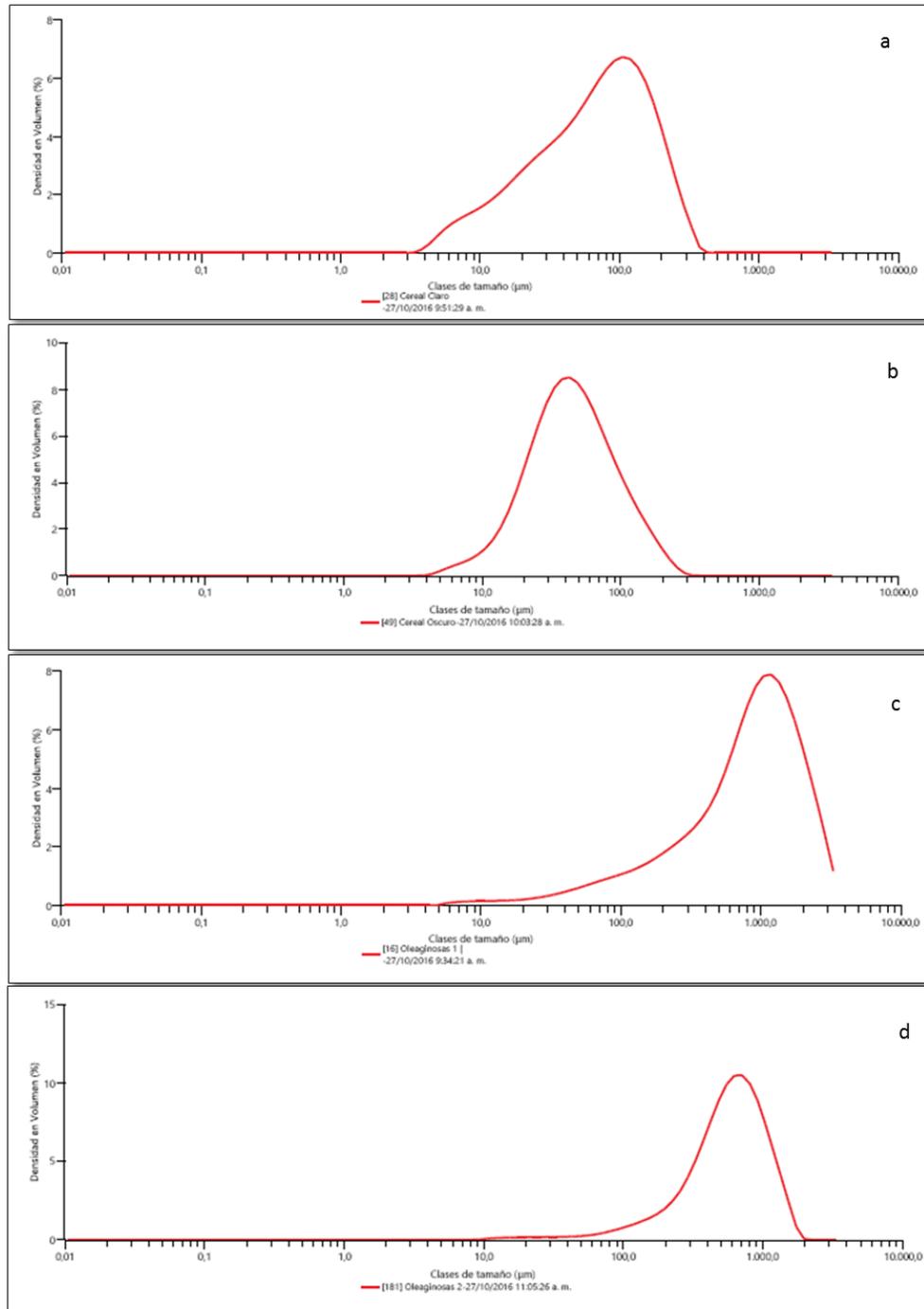
**Anexo 5 Termogramas de las materias primas obtenidas por DSC**







Anexo 6 Distribución del tamaño de partícula para las materias primas: (a) cereal claro, (b) cereal oscuro, (c) oleaginosas 1 y (d) oleaginosas 2.



Anexo 7 distribución del tamaño de partícula para las materias primas: (e) endulzante, (f) extracto de malta, (g) aroma 1 y (h) producto comercial.

