



# **ESTUDIO DE LA VISCOSIDAD DE DISTINTOS TIPOS DE CHOCOLATE DURANTE LA ETAPA DE CONCHADO LÍQUIDO**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

Curso: 2015/16

**Alumno: Aida Palomo Calvo**  
**Tutor: Manuel Gómez Pallarés**

**Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos**  
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia)  
Universidad de Valladolid

## ÍNDICE

RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Propiedades reológicas del chocolate.....	4
1.2. Parámetros que afectan a las propiedades de fluencia del chocolate .....	6
1.2.1. Proceso de elaboración del chocolate .....	6
1.2.2. Composición del chocolate .....	8
1.2.3. Otros parámetros.....	9
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO .....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1. Materiales .....	12
3.2. Métodos.....	13
3.3. Modo de elaboración del chocolate .....	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
5. CONCLUSIONES .....	24
6. AGRADECIMIENTOS.....	25
7. BIBLIOGRAFÍA.....	25

## RESUMEN

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio de la evolución de la viscosidad del chocolate durante la etapa de conchado líquido. Las propiedades reológicas son fundamentales, influyen tanto en el proceso productivo del chocolate (conchado, atemperado, moldeo y durante las operaciones de bombeo) como en la calidad final del producto, puesto que aportarán la textura y las características de fusión en la boca adecuadas. Estas propiedades se ven afectadas por el tamaño de partícula, el contenido de humedad, la composición de ingredientes y por el proceso de elaboración. Para llevar a cabo este estudio se han medido los parámetros reológicos (viscosidad plástica, esfuerzo umbral, índice de consistencia e índice de flujo) de 43 muestras de chocolate, constituidas por chocolate blanco, blanco con maltitol, con leche, con leche con maltitol y negro con distintos porcentajes de cacao. También se han medido el porcentaje de humedad y el tamaño de partícula.

Los parámetros reológicos del chocolate, el tamaño de partícula y el porcentaje de humedad no se han visto afectados por el tiempo de conchado líquido. Por el contrario, si se ven influenciados por la composición de ingredientes del chocolate.

## ABSTRACT

In this work, it is analyzed the evolution of chocolate's viscosity during the liquid conching process. The rheological properties are essential because they provides the texture and melts in mouth characteristics. On the one hand, the rheological properties affects in both the production process of the chocolate (conching, tempering processes, moulding and chocolate pumping) and the final quality of the product. On the other, these properties are affected by the sizes of the particle, the moisture content, the composition of the ingredients and the production process. To perform the study in this work, the rheological parameters (plastic viscosity, yield stress, consistency index and the flow rate) are measured for 43 different kind of chocolate samples formed by white chocolate, white chocolate with maltitol, milk chocolate, milk chocolate with maltitol and dark chocolate with different cocoa percentage. For all the samples, it is also measured the humidity percentage and the particle size.

Rheological parameters chocolate, particle size and moisture content are not affected by liquid conching time. However, they are influenced by the composition of ingredients of chocolate.

## 1. INTRODUCCIÓN

El chocolate es un producto alimenticio que generalmente se consume por placer. Durante su consumo se producen una serie de estímulos que activan los centros de placer del cerebro humano (*Afoakwa et al., 2007*). Los productos de chocolate son los productos dulces más importantes y populares, especialmente entre los niños, esta popularidad se debe principalmente a su potencial para despertar el placer sensorial y las emociones positivas (*Macht y Dettmer, 2006*).

Desde la antigüedad, al chocolate se le atribuyen propiedades beneficiosas para la salud. Los aztecas ya elaboraban una bebida amarga con las habas del cacao denominada *chocolatl*, que significa “agua espumosa” (*Valenzuela, 2007*), se decía que el emperador Moctezuma bebía al día 50 vasos de esta bebida con propiedades afrodisiacas (*Beckett, 2000*). Actualmente, hay estudios que indican que el consumo de chocolate incrementa la actividad antioxidante, modula la función plaquetaria e inflamación (reduce el riesgo de formación de trombos) y disminuye la presión arterial. Aunque no existe consenso sobre la cantidad óptima que se debe consumir, puede sugerirse que el consumo diario de chocolate rico en cacao es una buena elección para reducir, parcialmente, el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. Estas propiedades saludables se deben a que en la composición del cacao y, por lo tanto en la del chocolate, destaca la elevada cantidad de polifenoles, principalmente flavonoides (*Gómez-Juaristi et al., 2011*).

El ingrediente esencial del chocolate es el cacao, de hecho, para poder denominar a un producto chocolate, éste debe contener cacao. Las habas de cacao proceden del árbol del cacao (*Theobroma cacao*, L.), originario de América Central y de Sudamérica (*Beckett, 2000*). Las habas se extraen de las mazorcas, que después de ser cosechadas se almacenan unos días para que se produzca la fermentación de los granos, proceso que contribuye a la formación de los precursores del sabor del chocolate. Después, se secan hasta que alcanzan un 7% de humedad. Durante esta operación también se producen precursores saborizantes, además de desarrollarse el color pardo característico del chocolate. A continuación, los granos se descascarillan y tuestan adquiriendo el aroma intenso del cacao (*Hoskin y Dimick, 1988*). Finalmente, los granos tostados se someten a un proceso de molienda, por el que se obtiene la pasta de cacao. Por medio del prensado de la pasta de cacao se obtiene, por un lado, la manteca de cacao y, por otro, el cacao en polvo (*Beckett, 2000*).

Además de cacao en polvo, pasta de cacao y manteca de cacao, el chocolate consta de otros ingredientes como azúcar, grasas, emulsionantes y aromatizantes. Todos los

ingredientes juegan un papel fundamental en la calidad del producto (*El-kalyoubi et al., 2011*).

El chocolate puede ser descrito como una suspensión que consiste en partículas sin grasa (azúcar, partículas sólidas de cacao y, eventualmente, partículas de leche en polvo) dispersas en la manteca de cacao como una fase continua (*Gonçalves et al., 2010; El-kalyoubi et al., 2011; Gao et al., 2015*).

Un aspecto fundamental para la calidad del chocolate es un comportamiento de fusión apropiado, de manera que el producto se encuentra en estado sólido a temperatura ambiente y se funde cuando lo ingerimos al someterse a disolución en la saliva por vía oral (*Quiñones-Muñoz et al., 2011*). Durante su fabricación se determina el tamaño de partícula, la consistencia de la suspensión y la viscosidad, para producir calidades de textura y sensoriales específicas. La grasa y el contenido de lecitina también influyen significativamente en las propiedades texturales y reológicas y en las características de fusión (*Afoakwa et al., 2008*).

Las propiedades reológicas, en particular, son muy importantes porque están relacionadas tanto con la eficiencia de las etapas principales del proceso (conchado, atemperado, moldeo, y también durante las operaciones de bombeo) (*Gonçalves et al., 2010*), como con la calidad del producto final (*Glicerina et al., 2013*).

### **1.1. Propiedades reológicas del chocolate**

La reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de sólidos y fluidos bajo la influencia de fuerzas mecánicas (*Gonçalves et al., 2010*).

Como se ha mencionado antes, el chocolate fundido es una suspensión de partículas de azúcar, cacao y, en algunos casos, sólidos de leche (chocolate con leche) en una fase grasa continua. Debido a la presencia de estas partículas sólidas en la masa fundida, el chocolate muestra propiedades no Newtonianas (*Chevalley, 1975*), es decir, se comporta como un fluido no newtoniano, exhibiendo un comportamiento pseudoplástico, con un esfuerzo umbral relacionado con la cantidad de energía necesaria para iniciar el flujo del fluido, y la viscosidad plástica, la energía necesaria para mantener el líquido en movimiento (*Beckett, 2000; Vivar-Vera et al., 2008; Afoakwa et al., 2009*).

Los fluidos con comportamiento pseudoplástico se caracterizan porque su viscosidad disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación. Esta tendencia de la viscosidad del chocolate se ajusta al modelo de comportamiento de flujo de Casson

(Quiñones-Muñoz *et al.*, 2011). Este modelo reológico es el más utilizado y conocido para describir el comportamiento de flujo del chocolate (Gonçalves *et al.*, 2010).

Según este modelo, la viscosidad de los fluidos se ajusta a la siguiente ecuación (Afoakwa *et al.*, 2009):

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante aplicado,  $\tau_0$  el esfuerzo umbral,  $\eta$  la viscosidad plástica y  $\dot{\gamma}$  la velocidad de deformación. La viscosidad plástica se define como la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, es decir:

$$\eta = \tau / \dot{\gamma}$$

Ajustando el comportamiento al modelo de La Ley de la Potencia, se obtienen el índice de flujo ( $n$ ) y el índice de consistencia ( $k$ ), parámetros que también nos permiten caracterizar el flujo del chocolate y están relacionados por la ecuación (Muller, 1978):

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

En función de estos exponentes también se puede establecer el comportamiento reológico de los fluidos:

- Fluidos Newtonianos:  $n=1$
- Pseudoplásticos:  $n<1$
- Dilatantes:  $n>1$

Por lo tanto, las propiedades de fluencia del chocolate se cuantifican utilizando dos parámetros (esfuerzo umbral y viscosidad plástica). El esfuerzo umbral ( $\tau_0$ ) es una propiedad del material relacionada con el esfuerzo mínimo necesario para que se evidencie flujo, la viscosidad plástica ( $\eta$ ) determina las características de bombeo, el relleno de superficies rugosas, las propiedades de revestimiento y el carácter sensorial de la masa de chocolate (Afoakwa *et al.*, 2008).

Beckett (2000) y Afoakwa *et al.* (2007) señalaron que los chocolates de alta viscosidad tienen una sensación pastosa, que persiste en la boca, y proponen que la viscosidad está relacionada con la distribución de tamaño de partícula, la composición y la estrategia de procesamiento. Por lo tanto, las propiedades reológicas se ven influidas por estos parámetros, que a su vez afectan a la textura final y juegan un papel significativo en el proceso industrial (Gonçalves *et al.*, 2010).

Además, si la viscosidad es demasiado baja, el peso del chocolate también será demasiado bajo. Por el contrario, cuando es demasiado alta, se pueden formar burbujas que permanecerán en las tabletas de chocolate moldeado (*Beckett, 2000*).

## **1.2. Parámetros que afectan a las propiedades de fluencia del chocolate**

Según varios autores (*Chevalley, 1975; Becket, 2000; Vivar-Vera et al., 2008; Gonçalves et al., 2010; Quiñones Muñoz et al., 2011*) las propiedades de fluencia del chocolate se ven afectadas por el proceso de elaboración, por su composición de ingredientes y por algunas propiedades físicas, como son el porcentaje de humedad y el tamaño de partícula.

### **1.2.1. Proceso de elaboración del chocolate**

Las diferentes etapas del proceso de la elaboración del chocolate (mezclado, refinado, conchado y atemperado) y los diferentes parámetros del proceso adoptados pueden afectar a las propiedades del chocolate, que, a su vez, determinan el comportamiento y las características del producto final. Durante la elaboración del chocolate, mezclas de azúcar, cacao y grasas se calientan, enfrían, presurizan y refinan (*Glicerina et al., 2013*). Estas etapas producen la rotura de los aglomerados y distribuyen la grasa y las partículas revestidas de lecitina a través de la fase continua, modificando la estructura final del chocolate (*Afoakwa et al., 2008*).

El proceso de elaboración del chocolate consta de cuatro etapas principales: mezclado, refinado, conchado y atemperado (*Gonçalves et al., 2010*).

Durante el mezclado la pasta de cacao, el cacao en polvo, el azúcar y los componentes lácteos se colocan en una mezcladora o amasadora con parte de la manteca de cacao, formándose una masa uniforme (*Glicerina et al., 2013*). Posteriormente la masa de chocolate sufre un proceso de refinado en el que tiene lugar una reducción del tamaño de partícula, la finura del chocolate juega una importancia decisiva en la textura, fusión y propiedades reológicas del chocolate. La masa de chocolate que se obtiene del refinado tiene una apariencia aglomerada (*Beckett, 2000*).

Una vez que la masa de chocolate ha sido refinada, tiene lugar la etapa de conchado. Una concha es un mezclador que optimiza el desarrollo del sabor y convierte la masa de chocolate en un líquido fluido (*Gonçalves et al., 2010*). Durante el conchado, la masa de chocolate se somete a una transición estructural convirtiéndose en una

suspensión líquida donde las partículas de cacao y los cristales de azúcar se suspenden en la fase grasa. La transición estructural se consigue a través de un proceso de amasado intenso en el que se aplica energía térmica y mecánica para dispersar y desintegrar los grandes aglomerados que se encuentran en las primeras etapas de conchado (*Vivar-Vera et al., 2008*).

Según Beckett (2000) para elaborar un buen chocolate, el conchado debe constar de tres fases: conchado seco, plástico y líquido. El conchado seco es la fase inicial, el chocolate está en forma de polvo y puede contener un exceso de humedad, aspecto que puede ser negativo para las propiedades de fluencia del chocolate, durante esta fase se produce una reducción de la humedad y la eliminación de compuestos volátiles indeseados. En la fase plástica se añade parte de la manteca de cacao, lo que produce que la viscosidad disminuya, se rompen los aglomerados, se forman los aromas y las partículas sólidas se recubren de una película de manteca de cacao. El conchado líquido comienza cuando se completa la receta, es decir, se realizan las adiciones finales de manteca de cacao, lecitina y aroma.

Al final del conchado, el chocolate fundido debe tener una textura suave, el comportamiento de flujo adecuado, buenas características de fusión y un sabor a chocolate mejorado, debido a la eliminación de los componentes de ácidos volátiles indeseables. Por lo tanto, el conchado es esencial para el desarrollo de las propiedades reológicas y sensoriales del chocolate (*Vivar-Vera et al., 2008*).

Una vez que el chocolate está correctamente conchado debe ser atemperado. Este proceso consiste en la cristalización de una pequeña proporción de la grasa, lo que facilita su solidificación de manera correcta después del moldeado (*Quiñones Muñoz et al., 2011*).

El atemperado consta de varias etapas clave: primero se produce una fusión completa del chocolate (normalmente a 50°C), para seguidamente enfriarlo hasta el punto de cristalización (32-34°C), a continuación se sigue reduciendo la temperatura hasta que se produce la cristalización (25-27°C) y finalmente, se somete al chocolate a un aumento de temperatura para destruir cualquiera de los cristales inestables (29-32°C) (*Afoakwa et al., 2008*).

Por último, el chocolate será moldeado, enfriado (solidificación) y envasado. En estas etapas se producirá la cristalización del resto de la manteca de cacao (*Beckett, 2000*).



### 1.2.2. Composición del chocolate

Dentro de los ingredientes, la manteca de cacao y la lecitina influyen de manera importante en la viscosidad del chocolate (*Beckett, 2000; Loncarevic et al., 2014*). Además otros autores (*Gomes et al., 2007; Gonçalves et al., 2010;*) indican que la sustitución del azúcar por otro tipo de edulcorante también produce cambios en la fluencia del mismo.

#### – Manteca de cacao

Es un ingrediente muy importante en la formulación del chocolate y es responsable de la mayor parte de sus propiedades (textura, palatabilidad y brillo) y ayuda a que el chocolate fluya con más facilidad. Además, es la única fase grasa continua en el chocolate y por lo tanto es la responsable de la dispersión de los otros constituyentes (*Lannes et al., 2004*).

La composición de lípidos, además de ser importante para la viscosidad, es fundamental para el carácter sensorial, puesto que influye en las propiedades de sensación en la boca y de fusión. Los chocolates son sólidos a temperatura ambiente (20-25°C) y se funden en la boca (37°C) durante el consumo dando lugar a una suspensión uniforme de partículas sólidas dispersas en la manteca de cacao y la grasa de la leche (*Beckett, 1998*).

La manteca de cacao debe encontrarse en forma libre para facilitar el flujo. La mayor parte de la manteca se une parcialmente a la superficie de las partículas, por lo que es la grasa que se encuentra libre la que tiene un efecto importante en la lubricación del flujo cuando éste se produce, de manera que provoca un descenso importante de la viscosidad (*Beckett, 2000*).

Gao et al., (2015) informaron de que los chocolate que tienen una mayor cantidad de manteca de cacao poseen una viscosidad plástica menor.

#### – Lecitina

Es el emulgente más común que se utiliza en la elaboración de chocolate (*Beckett, 2000*). La lecitina ayuda a suavizar la textura y sirve como un agente emulsionante en el chocolate (para controlar la viscosidad, la cristalización, y el pegado) (*Loncarevic et al., 2014*). La adición de entre un 0,1 y 0,3% de lecitina de soja reduce la viscosidad más de 10 veces su mismo peso de manteca de cacao. Sin embargo, demasiada lecitina puede ser perjudicial para las propiedades de fluencia ya que a alta cantidades, por encima del 0,5%, el umbral de fluencia aumenta, aunque la viscosidad sigue disminuyendo (*Beckett, 2000*). Nebesny y Dorota (2005) comprobaron también

que un aumento en el contenido de lecitina da lugar a peores propiedades sensoriales y de flujo de las masas.

– **Edulcorantes**

En muchas ocasiones se sustituye la sacarosa por otro tipo de edulcorantes (polidextrosa, isomaltol, maltitol...), puede ser con el fin de que el producto sea apto para personas diabéticas (*Beckett, 2000*) o bien para una reducción de las calorías del producto (*Gomes et al., 2007*).

Pero algunos estudios han comprobado (*Gomes et al., 2007; Nebeny et al., 2005*) que las formulaciones de chocolate que contienen altos niveles de sustitutos de azúcar tienen un mayor contenido de humedad, lo que produce un aumento de la viscosidad y del esfuerzo umbral. Gomes et al. (2007) creen que se debe a la presencia de ingredientes higroscópicos (en particular la polidextrosa) que podría dificultar la eliminación de la humedad durante la etapa de conchado, y favorecer su absorción durante el período de almacenamiento.

Abbasi y Farzanmehr (2009) comprobaron que las formulaciones de chocolate que contienen altos niveles de sustitutos de azúcar tenían mayor contenido de humedad, viscosidad plástica y esfuerzo umbral.

Sokmen y Gunes (2006) investigaron los efectos de diferentes edulcorantes, como el maltitol, la isomaltosa y el xilitol, y su distribución de tamaño de partícula en las propiedades reológicas de chocolates fundidos. El maltitol proporcionaba propiedades reológicas similares que la sacarosa, aunque producía un aumento del esfuerzo umbral. La isomaltosa dio lugar a una mayor viscosidad plástica. También comprobaron que a medida que el tamaño de partícula aumenta también lo hacen la viscosidad plástica y el esfuerzo umbral. Llegaron a la conclusión de que las diferencias en las propiedades reológicas del chocolate con diferentes edulcorantes son causadas por la distribución de tamaño de partícula y que, por lo tanto, debe elegirse un sustituto con gran tamaño de partícula para reemplazar a la sacarosa para mejorar las propiedades reológicas de chocolate, pero el tamaño de partícula debe ser lo suficientemente pequeño para obtener buenas propiedades sensoriales.

**1.2.3. Otros parámetros**

Otros parámetros como son el porcentaje de humedad y el tamaño de partícula también afectan a las propiedades reológicas del chocolate (*Beckett, 2000; Quiñones Muñoz et al., 2011*).

– **Contenido de humedad**

Se podría esperar que como el agua es un líquido si se le añadiese al chocolate la mezcla resultante tuviese una viscosidad media entre la del agua y la del chocolate, pero sucede todo lo contrario, el agua convierte al chocolate en una pasta muy espesa. La mayor parte de la humedad se elimina durante el conchado seco, pero el vapor de agua puede condensar en la concha y formar gotitas, que pueden volver al chocolate y disolver partículas de azúcar, éstas se unirían y formarían agregados arenosos desagradables (*Beckett, 2000*).

– **Tamaño de partícula**

La distribución del tamaño de partícula es un factor determinante para el comportamiento de flujo, afecta tanto a la viscosidad como a la textura; un chocolate refinado con un tamaño máximo de partícula de 20  $\mu\text{m}$  se percibirá más cremoso que uno de 30  $\mu\text{m}$  (*Afoakwa et al., 2008*).

Se nota que el chocolate es grosero cuando más del 20% de las partículas son mayores de 20  $\mu\text{m}$ . La lengua es capaz de detectar partículas mayores de 30  $\mu\text{m}$ , por lo que un chocolate con este tamaño de partícula resultaría arenoso en la boca (*Beckett, 2000*). Las partículas más pequeñas mejoran las propiedades sensoriales, pero la viscosidad plástica y el esfuerzo umbral aumentan debido a los cambios en el área superficial de las partículas en contacto con la fase grasa (*El-kalyoubi et al., 2011*). Esto se debe a la gran cantidad de grasa que se necesita para recubrir las partículas finas, de manera que puedan desplazarse unas junto a otras en el chocolate líquido. Las partículas finas hacen el chocolate más espeso porque reducen la cantidad de grasa libre que permite que las partículas pasen unas junto a otras (*Beckett, 2000*). Si las partículas son pequeñas, su superficie específica es grande y, por lo tanto, se necesitará más grasa; por el contrario, si las partículas son grandes, la superficie específica es pequeña y se necesita menos grasa (*Chevalley, 1975*).

## **2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO**

El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento reológico de distintos tipos de chocolates en función de su composición y de distintos parámetros que afectan a dicho comportamiento reológico.

Este estudio ha sido realizado para la industria chocolatera “Chocolates Trapa” (Palencia).

Las industrias de fabricación de chocolate trabajan con productos en fase líquida. Cuando finaliza el proceso de conchado se produce una masa de chocolate líquido, que debe ser bombeada a los depósitos y a los atemperadores, para finalmente ser dosificada en los moldes. Por esta razón, las propiedades de fluencia del chocolate son fundamentales para un correcto proceso productivo. Además, estas propiedades también influyen en la calidad final del producto, puesto que aportarán al producto la textura y las características de fusión en la boca adecuadas.

**Tabla 1. Tipos de chocolate estudiados y proporción aproximada de sus ingredientes.**

<b>% Ingredientes aprox.</b>	<b>Blanco</b>	<b>Leche</b>	<b>Negro 50%</b>	<b>Negro 55%</b>	<b>Negro 70%</b>
<b>Azúcar</b>	47,34	44,84	49,8	45	29,86
<b>Manteca de cacao</b>	26,63	22,9	8	8,9	9,96
<b>Leche en polvo</b>	24,63	22,9			
<b>Pasta de cacao</b>		7	41,8	39,82	49,8
<b>Cacao en polvo</b>				5,9	10
<b>Mantequilla</b>	1	2			
<b>Lecitina de soja</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Vainillina</b>	0,1	0,06	0,1	0,08	0,08

En la Tabla 1 se muestran los distintos chocolates estudiados y la proporción aproximada de sus ingredientes. Además, se han realizado medidas de muestras de dos chocolates con leche y dos blancos en los que el azúcar es sustituido por maltitol.

Se han analizado un total de 43 muestras (Tabla 3), constituidas por tres chocolates blancos, 2 blancos con maltitol, tres con leche, dos leche con maltitol, dos negros con un porcentaje mínimo de cacao del 50%, tres negros con 55% de cacao y dos negros con 70% de cacao, que han sido recogidas durante el periodo de un mes.

Cada muestra se ha tomado directamente de las conchas a la hora del comienzo de la etapa de conchado líquido, a la mitad y a la descarga de la concha (final del conchado), excepto los chocolates con maltitol que por cuestiones del proceso productivo solo se han podido tomar al final del conchado.

Para realizar este trabajo se han medido los parámetros reológicos (viscosidad plástica, esfuerzo umbral, índice de consistencia e índice de flujo) de cada uno de los chocolates. También se han medido el porcentaje de humedad y el tamaño de partícula, parámetros que influyen en las propiedades sensoriales y en la viscosidad del chocolate.

Por último, se ha tratado de ver la influencia en la viscosidad del chocolate del contenido de lecitina, las horas totales de conchado y la fundición añadida. La

fundición es producto final que por diversas causas no puede ser comercializado pero puede fundirse y reutilizarse para elaborar de nuevo chocolate. La fundición se añade a la concha cuando comienza la etapa de conchado líquido.

Cabe señalar que no existe uniformidad en la elaboración del chocolate. A pesar de que Chocolates Trapa tiene estipulados sus tiempos y temperaturas de conchado (Tabla 2) no siempre pueden cumplirse, algunos chocolates tienen un proceso de conchado más largo (hasta 50 horas) o un conchado más corto. Si la concha excede su temperatura, el chocolate puede quemarse, por lo que se realiza la adición de parte de la manteca de cacao y lecitina, acortando de esta manera el tiempo de las fases de conchado seco o plástico y adelantando así el conchado líquido. Otras razones como son la formación de aglomerados de azúcar durante la etapa de conchado líquido, el cambio de turno de los operarios o la elaboración del chocolate durante un fin de semana puede alargar el tiempo de conchado. Además, la adición de fundición en algunas pastas (chocolates) durante su elaboración puede que modifique las condiciones de la fase de conchado líquido. A todo esto hay que añadir el estado actual de la industria, que se encuentra en medio de un proceso de ampliación de la zona de elaboración del chocolate.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Materiales**

Para la elaboración de sus chocolates, Chocolates Trapa utiliza diversas materias primas, exigiendo a cada proveedor algunos parámetros de calidad.

La empresa catalana Nederland (Barcelona) es la proveedora de la manteca y la pasta de cacao y del cacao en polvo. La manteca de cacao debe tener una acidez oleica máxima de 1,75%; la pasta de cacao debe contener un 54% de grasa y una acidez oleica máxima de 1,75%. El cacao en polvo debe contener entre un 11-12% de grasa, una acidez oleica máxima de 1,75%, una humedad de 5% y un pH ácido ( $\approx 5,6$ ).

El azúcar procede de la Azucarera (Valladolid) y se le exige una humedad inferior a 0,06%.

El proveedor de la leche en polvo es Plimon (Barcelona). Las características de esta materia prima son un contenido en grasa de 26%, una acidez láctica máxima de 0,15% y un pH neutro.

La mantequilla procede de Industrias Lácteas Asturianas (Asturias) y el parámetro exigido es que contenga una acidez oleica máxima de 1,75%.

El proveedor de la lecitina de soja (sin OGM) y la vainillina es Amaher (Madrid). La lecitina debe estar libre de OGM (Organismos Genéticamente Modificados) y tener una acidez oleica máxima de 1,75%. Los parámetros exigidos para la vainillina es una humedad máxima del 5%.

### **3.2. Métodos**

Para realizar las medidas de los parámetros reológicos se ha utilizado un viscosímetro rotacional Brookfield DV2T, spindle SC4-27 (Massachusetts, EE. UU.) y el software Rheocalc T 1.2.19 (Brookfield, Massachusetts, EE. UU.). Ajustando el programa a la Ley de la Potencia se han obtenido los valores de los parámetros reológicos (índice de consistencia, K e índice de flujo, n) y ajustando al modelo de Casson se ha obtenido el esfuerzo umbral ( $\tau_0$ ) y la viscosidad plástica ( $\eta$ ). Para realizar estas medidas se ha mantenido el chocolate a una temperatura de 40°C, mediante un baño termostático Julabo (Seelbach, Alemania), conectado al viscosímetro. Cada muestra ha sido analizada por duplicado y se ha mantenido a una temperatura de 40°C hasta que ha sido analizada.

Para llevar a cabo la medida del tamaño de partícula se ha empleado un micrómetro digital Mitutoyo (Guipúzcoa, España) y para medir el porcentaje de humedad se ha utilizado una termobalanza Cobos MOC-63U (Barcelona, España).

Por último, se ha realizado un análisis estadístico utilizando el software Statgraphics Plus V5.1 (StatPoint Technologies, Warrenton, EE.UU.). Se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA multifactorial) para estudiar la influencia en los parámetros reológicos del tiempo de conchado y la fórmula, y otro análisis (ANOVA simple) para estudiar solamente la influencia de la fórmula. Se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para describir diferencias con un nivel de confianza del 95%.

### **3.3. Modo de elaboración del chocolate**

Todas las muestras (Tabla 3) analizadas en este trabajo han sido elaboradas en Chocolates Trapa, su proceso productivo comienza con la fase de mezclado. En esta fase se añaden a la mezcladora Carle & Montanari (Rozzano, Italia) la pasta de cacao, una parte de la manteca, el cacao en polvo (turto) y el azúcar, para la elaboración del chocolate negro. En el caso del chocolate con leche no se añadiría el turto y se

añadiría la leche en polvo, y en el caso del chocolate blanco se añade el azúcar, una parte de la manteca y la leche en polvo. Esta primera fase tiene una duración de 15-20 minutos, en ella se mezclan los ingredientes produciéndose una masa uniforme.

A continuación, la masa se dosifica automáticamente a una refinadora de rodillos Bühler Finer V (Uzwil, Suiza). La presión y las fuerzas de cizalla que se producen en el hueco de los rodillos rompen las partículas, reduciendo su tamaño a un valor de 15-25  $\mu\text{m}$ , dependiendo del tipo de chocolate que se elabore, puesto que este parámetro afecta a sus propiedades de fluencia como líquido, a su sabor y a su textura en la boca.

A través de un sistema de cintas transportadoras, la masa de chocolate se traslada a la concha Carle & Montanari (Rozzano, Italia) que le corresponde según sea blanco, con leche o negro. El conchado es la etapa en la que se completa la receta, se añade el resto de la manteca de cacao, la lecitina y la vainillina; y en el caso del chocolate blanco también se añade la mantequilla. Una vez que se añaden estos últimos ingredientes comienza el conchado líquido. El rango de temperaturas y el tiempo de conchado varían según el tipo de chocolate y la etapa de conchado, como puede observarse en la Tabla 2.

**Tabla 2. Tiempo y temperatura durante el conchado según el tipo de chocolate.**

<b>Chocolate</b>	<b>Seco</b>	<b>Plástico</b>	<b>Líquido</b>
<b>Blanco</b>	T < 55°C	3h 45-60°C	1h 55°C
<b>Con leche</b>	2,5-3h T < 55°C	6h 45-60°C	1-1,5h 55°C
<b>Negro</b>	2,5-3h T < 55°C	6h 55-80°C	1-1,5h 55°C

Al finalizar la etapa de conchado, se descarga la concha y el chocolate es bombeado a los tanques de almacenamiento Gimon (Barcelona, España), en los que permanece hasta de ser atemperado.

Antes del proceso de moldeo el chocolate, debe ser atemperado, para ello se emplean atemperadores Aasted Mickroverk Super Shear (Farum, Dinamarca). En este proceso tiene lugar una cristalización de una pequeña parte de la cantidad de la manteca de cacao (1-3%), lo que facilita su solidificación de manera correcta después del moldeo. el proceso de atemperado consta de 3 etapas:

- Pre-enfriado: el chocolate que vienen de las tuberías a unos 50-55°C se enfría hasta los 45°C.
- Enfriado: el chocolate se enfría hasta los 26°C, y se forman los cristales.

- Re-calentado: se eleva la temperatura del chocolate hasta aproximadamente 31-32°C, los cristales inestables se funden.

A la salida de los atemperadores el chocolate pasa a la moldeadora Aasted Mickroverk FC (Farum, Dinamarca), donde es dosificada en los moldes. Finalmente, el chocolate es transportado a la cámara frigorífica Aasted Mickroverk (Farum, Dinamarca), donde el chocolate solidifica y se produce la formación del resto de los cristales.

El chocolate se envasa y almacena hasta su expedición en condiciones de temperatura controlada ( $\approx 16^\circ\text{C}$ ).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las muestras de chocolate tienen un comportamiento reológico que se ajusta al modelo de Casson, es decir, todas presentan esfuerzo umbral ( $\tau_0$ ) y viscosidad plástica ( $\eta$ ) y su índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) indica que tienen un comportamiento pseudoplástico,  $n < 1$  (Tabla 3).

**Tabla 3. Tamaño de partícula, porcentaje de humedad y parámetros reológicos obtenidos de las diferentes muestras de chocolate analizadas.**

Fórmula	Denominación	Conchado líquido	Partícula ( $\mu\text{m}$ )	Humedad (%)	$\eta$ (Pa·s)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa·s)	n
Blanco	B1	1 h	27	0,72	11,2 $\pm$ 1,1	24,25 $\pm$ 1,05	63,55 $\pm$ 0,85	0,348 $\pm$ 0,015
		mitad	26	0,89	12,3 $\pm$ 0,5	21,1 $\pm$ 0,6	66,8 $\pm$ 0,1	0,374 $\pm$ 0,008
		final	26	0,88	12,85 $\pm$ 0,85	21,45 $\pm$ 1,45	68,65 $\pm$ 0,65	0,38 $\pm$ 0,017
	B2	1 h	26	0,69	14,3 $\pm$ 0,6	21,95 $\pm$ 0,85	71,95 $\pm$ 0,25	0,372 $\pm$ 0,009
		mitad	27	0,81	8,88 $\pm$ 0,015	23,25 $\pm$ 0,05	62,55 $\pm$ 0,05	0,34 $\pm$ 0,002
		final	26	1,05	7,85 $\pm$ 0,2	23,15 $\pm$ 0,15	59,45 $\pm$ 0,85	0,324 $\pm$ 0,002
	B3	1 h	26	0,8	4,35 $\pm$ 0,15	17,2 $\pm$ 0,6	39,6 $\pm$ 0,4	0,284 $\pm$ 0,009
		mitad	26	0,86	3,78 $\pm$ 0,56	17,85 $\pm$ 1,85	38,8 $\pm$ 0,9	0,268 $\pm$ 0,026
		final	25	0,97	3,01 $\pm$ 0,07	19,55 $\pm$ 0,05	38,95 $\pm$ 0,05	0,239 $\pm$ 0,001
Blanco Maltitol	Bm1	final	35	0,81	1,3 $\pm$ 0,1	5,45 $\pm$ 0,08	12,6 $\pm$ 0,1	0,423 $\pm$ 0,001
	Bm2	final	37	0,89	1,09 $\pm$ 0,01	4,38 $\pm$ 0,05	9,67 $\pm$ 0,08	0,466 $\pm$ 0,001
Leche	L1	1 h	21	0,61	1,26 $\pm$ 0,02	5,47 $\pm$ 0,13	12,55 $\pm$ 0,15	0,411 $\pm$ 0,004
		mitad	19	0,57	1,24 $\pm$ 0,01	5,52 $\pm$ 0,01	12,55 $\pm$ 0,05	0,41 $\pm$ 0,002
		final	20	0,67	1,17 $\pm$ 0,01	5,73 $\pm$ 0,1	12,65 $\pm$ 0,15	0,398 $\pm$ 0,002
	L2	1 h	21	0,54	1,30 $\pm$ 0,01	4,83 $\pm$ 0,14	11,25 $\pm$ 0,45	0,453 $\pm$ 0,019
		mitad	20	0,57	1,26 $\pm$ 0,01	4,86 $\pm$ 0,06	11,2 $\pm$ 0,3	0,451 $\pm$ 0,016
		final	21	0,67	1,23 $\pm$ 0,01	4,74 $\pm$ 0,04	10,65 $\pm$ 0,05	0,464 $\pm$ 0,002
	L3	1 h	20	0,67	1,64 $\pm$ 0,02	5,75 $\pm$ 0,04	14,1 $\pm$ 0,1	0,445 $\pm$ 0,001
		mitad	21	0,73	1,42 $\pm$ 0,01	5,57 $\pm$ 0,03	13,2 $\pm$ 0,1	0,432 $\pm$ 0,001
		final	21	0,72	1,40 $\pm$ 0,01	5,76 $\pm$ 0,01	13,4 $\pm$ 0,1	0,426 $\pm$ 0,001



Fórmula	Denominación	Conchado líquido	Partícula (µm)	Humedad (%)	$\eta$ (Pa·s)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa·s)	n
Leche Maltitol	Lm1	final	30	0,97	2,16 ± 0,02	17,4 ± 0,1	34,55 ± 0,15	0,303 ± 0,001
	Lm2	final	27	0,85	2,15 ± 0,01	17,5 ± 0,2	34,55 ± 0,25	0,303 ± 0,001
Negro 50%	N50%1	1 h	18	0,44	7,76 ± 0,01	26,4 ± 0,2	64,25 ± 0,05	0,302 ± 0,002
		mitad	18	0,65	6,78 ± 0,45	26,9 ± 0,5	62,05 ± 0,65	0,286 ± 0,006
		final	18	0,58	6,41 ± 0,2	27,75 ± 0,35	62,1 ± 0,1	0,278 ± 0,005
	N50%2	1 h	20	0,6	8,03 ± 0,46	22,65 ± 1,45	59 ± 1,1	0,322 ± 0,014
		mitad	20	0,56	6,22 ± 0,01	25,25 ± 0,85	58,4 ± 1,3	0,282 ± 0,004
		final	19	0,62	6,02 ± 0,16	26,05 ± 0,25	58,35 ± 0,15	0,278 ± 0,005
Negro 55%	N55%1	1 h	19	0,74	7,12 ± 0,13	25,6 ± 0,1	61 ± 0,4	0,296 ± 0,002
		mitad	18	0,79	6,25 ± 0,14	26,45 ± 0,65	59,75 ± 0,55	0,280 ± 0,005
		final	18	0,75	6,34 ± 0,06	25,85 ± 0,45	59,1 ± 0,4	0,283 ± 0,003
	N55%2	1 h	19	0,6	7,24 ± 0,15	20,7 ± 0,9	53,65 ± 1,85	0,318 ± 0,002
		mitad	18	0,56	6,62 ± 0,16	21 ± 0,2	52,35 ± 0,15	0,308 ± 0,004
		final	18	0,64	5,96 ± 0,27	21,55 ± 0,25	50,25 ± 0,35	0,295 ± 0,006
	N55%3	1 h	19	0,86	6,36 ± 0,08	25,65 ± 0,15	58,8 ± 0,1	0,284 ± 0,002
		mitad	18	0,69	6,20 ± 0,17	25,7 ± 0,2	58,35 ± 0,75	0,280 ± 0,002
		final	19	0,65	6,61 ± 0,07	26,2 ± 0,2	60,4 ± 0,5	0,285 ± 0,001
Negro 70%	N70%1	1 h	21	0,62	1,98 ± 0,02	9,89 ± 0,21	23,15 ± 0,25	0,379 ± 0,005
		mitad	20	0,92	1,94 ± 0,01	10,05 ± 0,05	23,25 ± 0,05	0,374 ± 0,001
		final	20	0,81	1,88 ± 0,01	10,05 ± 0,05	23,05 ± 0,05	0,371 ± 0,001
	N70%2	1 h	20	1,07	1,28 ± 0,01	6,68 ± 0,08	15,4 ± 0,1	0,373 ± 0,002
		mitad	19	0,97	1,27 ± 0,01	6,56 ± 0,03	15,15 ± 0,05	0,374 ± 0,001
		final	19	1,01	1,29 ± 0,01	6,68 ± 0,09	15,4 ± 0,1	0,374 ± 0,002

A partir de estos datos se realizó un ANOVA multifactorial (tipo de chocolate x tiempo de conchado líquido) del que se excluyeron los chocolates sin azúcar, ya que estos no se analizaron con distintos tiempos de conchado líquido.

Como se puede observar en la Tabla 4, la viscosidad plástica, el esfuerzo umbral, el índice de consistencia, el índice de flujo, el tamaño de partícula y el porcentaje de humedad no se ven afectados por el tiempo de conchado líquido. En los gráficos 1, 2, 3 y 4 se puede observar con más claridad como los parámetros reológicos no están influenciados por el tiempo de conchado líquido. Sin embargo, si se ven afectados por la receta (formulación) del chocolate, es decir, por su composición según se trate de chocolate blanco, con leche o negro.

Algunos autores (Afoakwa et al., 2008; El-Kalyoubi et al., 2011; Glicerina et al., 2013) ya informaron de que las propiedades reológicas del chocolate se ven afectadas por la composición de ingredientes.

Tabla 4. ANOVA multifactorial (fórmula y tiempo de conchado líquido).

	Tamaño partícula	Humedad	$\eta$	$\tau_0$	K	n
<b>Blanco</b>	26.11c	0.85c	8.72b	21.08c	56.70b	0.33b
<b>Leche</b>	20.44b	0.64ab	1.32a	5.36a	12.39a	0.43d
<b>Negro 50%</b>	18.83a	0.58a	6.87b	25.83d	60.69b	0.29a
<b>Negro 55%</b>	18.44a	0.70b	6.52b	24.30d	57.07b	0.29a
<b>Negro 70%</b>	19.83b	0.90c	1.61a	8.32b	19.23a	0.37c
<b>1h</b>	21.10a	0.69a	5.56a	16.66a	41.94a	0.35a
<b>Mitad</b>	20.57a	0.74a	4.82a	16.96a	40.92a	0.34a
<b>Final</b>	20.53a	0.77a	4.65a	17.32a	40.79a	0.34a

Vivar-Vera et al., (2008) informaron que el chocolate sufría una reducción de la viscosidad con el tiempo de conchado, debido a que durante este proceso se produce la rotura de aglomerados de la masa de chocolate y la liberación de la grasa atrapada. Una vez que la grasa es liberada, se distribuye de manera uniforme y todas las partículas se recubren con una delgada capa. Sin embargo, una vez que ese proceso se completa las propiedades de flujo de la masa de chocolate se mantienen casi constantes hasta el final del conchado. Esta podría ser la causa de que no haya variaciones significativas en los parámetros reológicos del chocolate durante la fase de conchado líquido.

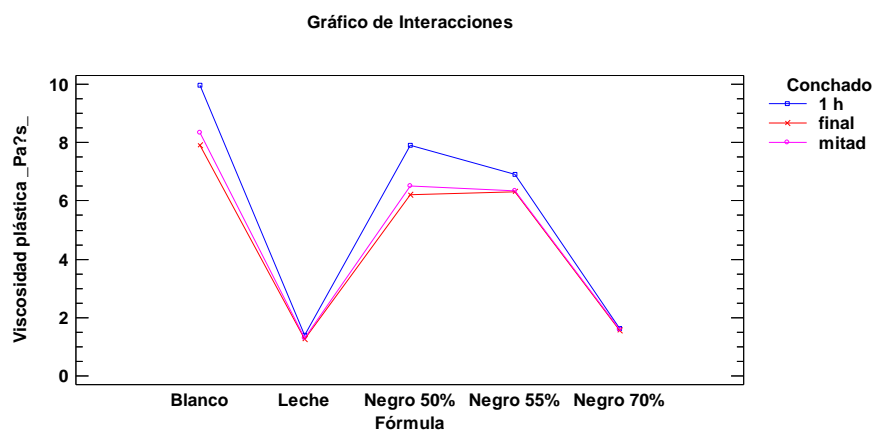


Gráfico 1. Interacción de la fórmula y el tiempo de conchado líquido en la viscosidad plástica.

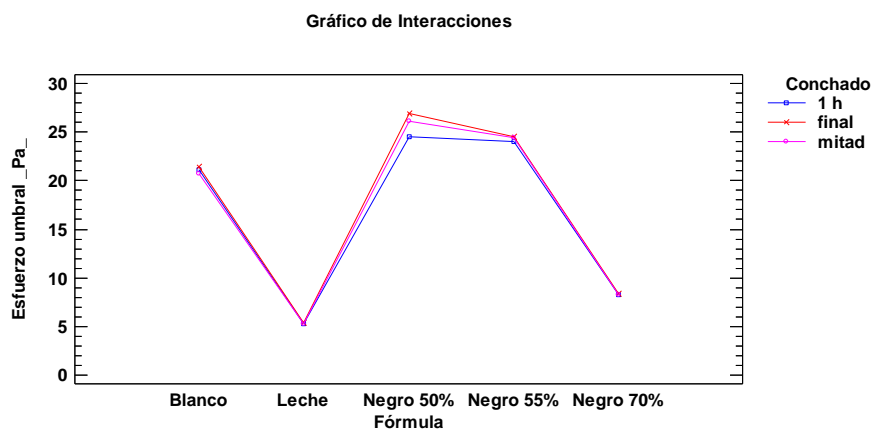


Gráfico 2. Interacción de la fórmula y el tiempo de conchado líquido en el esfuerzo umbral.

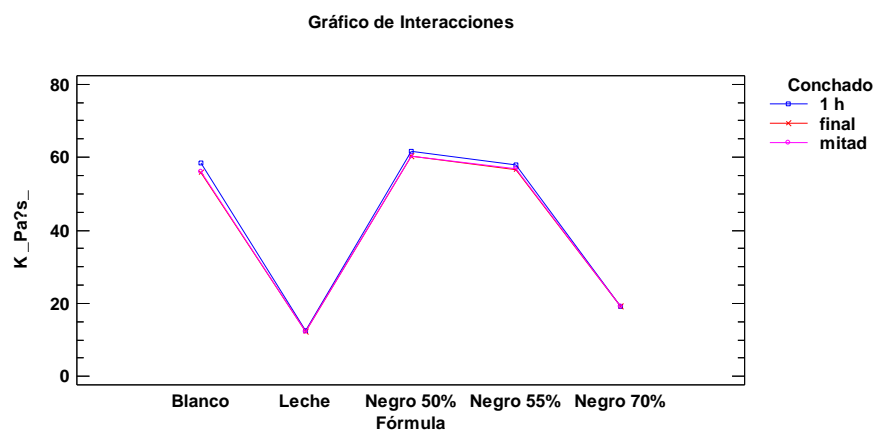


Gráfico 3. Interacción de la fórmula y el tiempo de conchado líquido en el índice de consistencia.

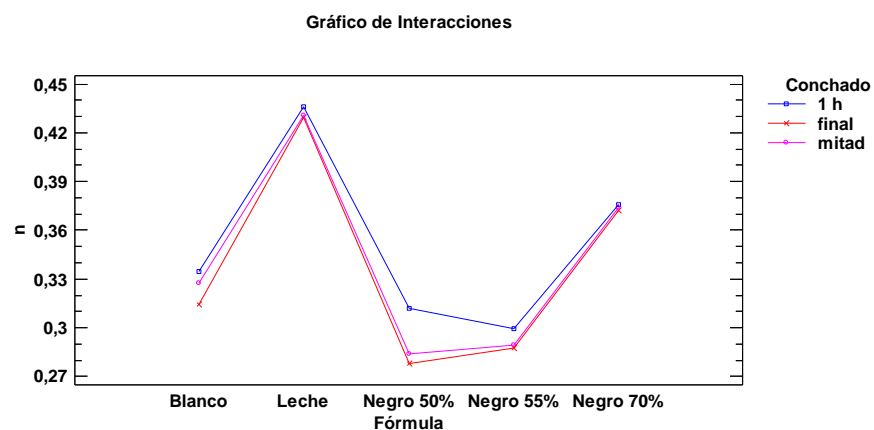


Gráfico 4. Interacción de la fórmula y el tiempo de conchado líquido en el índice de comportamiento de flujo.

Por otro lado, se realizó un análisis estadístico ANOVA simple con la receta del chocolate como único factor (Tabla 5), teniendo en cuenta solo el conchado final.

Viendo los resultados se puede afirmar que la composición de ingredientes del chocolate afecta al tamaño de partícula, a la humedad y a los parámetros reológicos del chocolate, como se ha mencionado anteriormente.

Tabla 5. ANOVA simple (fórmula).

	Tamaño partícula	Humedad	$\eta$	$\tau_0$	K	n
<b>Blanco</b>	25,67c	0,97b	7,90d	21,38c	55,68c	0,31ab
<b>Blanco maltitol</b>	36,00e	0,85b	1,20a	4,92a	11,14a	0,44c
<b>Leche</b>	20,67b	0,69a	1,27a	5,41a	12,23a	0,43c
<b>Leche maltitol</b>	28,50d	0,91b	2,16abc	17,45b	34,55b	0,30ab
<b>Negro 50%</b>	18,50a	0,60a	6,22bcd	26,90d	60,23c	0,28a
<b>Negro 55%</b>	18,33a	0,68a	6,30cd	24,53d	56,58c	0,29a
<b>Negro 70%</b>	19,50ab	0,91b	1,59ab	8,37a	19,23ab	0,37bc

En cuanto al tamaño de partícula existen grandes diferencias entre las formulaciones de chocolate blanco, con leche, negro y maltitol. Sin embargo, las tres variedades de chocolate negro presentan grandes similitudes debido a que su composición es más parecida. También existe una relación entre el chocolate con leche y el negro con un 70% de cacao.

Afoakwa et al., (2008) observaron que aumentando el tamaño de partículas se reduce el esfuerzo umbral y la viscosidad plástica. Sin embargo, en este estudio solo se observa este comportamiento en el caso del chocolate blanco con maltitol, que posee un tamaño de partícula bastante mayor que los blancos. Por el contrario, en el caso del chocolate con leche se observa el comportamiento contrario. Este tamaño de partícula mayor en los casos de chocolate elaborados con maltitol se debe precisamente a este componente.

Sokmen y Gunes (2006) investigaron los efectos de diferentes edulcorantes y afirmaron que el maltitol producía un aumento del esfuerzo umbral. Podemos observar estos mismos resultados comparando el chocolate con leche y el chocolate con leche con maltitol. Sin embargo, en el caso del chocolate blanco sucede lo contrario.

En el análisis del porcentaje de humedad no se encuentran grandes diferencias, todas las muestras tienen unos valores de humedad próximos. Se podría esperar que hubiese diferencias entre los chocolates blanco con blanco maltitol y leche con leche maltitol, estos resultados no se corresponden con los de Gomes et al., (2007) que afirman que la humedad del chocolate aumenta al sustituir el azúcar por otros

edulcorantes, como el maltitol, debido a su carácter higroscópico, que podría dificultar la eliminación de la humedad durante la etapa de conchado, y favorecer su absorción. Este aspecto es de suma importancia, porque, como se ha mencionado anteriormente, un aumento del contenido de humedad del chocolate conlleva un aumento de su viscosidad (*Beckett, 2000*). Además un exceso de humedad podría suponer la formación de aglomerados de azúcar, que afectarían a la textura final del chocolate.

Los parámetros reológicos se ven fuertemente afectados por la composición de los distintos chocolates. Se puede destacar la diferencia entre la viscosidad plástica del chocolate blanco con el blanco maltitol, debida seguramente a la sustitución del azúcar por maltitol. También cabe mencionar las diferencias que existen para la viscosidad plástica, el esfuerzo umbral, el índice de consistencia y el índice de flujo entre algunos chocolates, como es el caso del blanco maltitol en comparación con los chocolates negros con un 50% y 55% de cacao. Estos resultados pueden considerarse lógicos debido a la distinta composición de estos dos tipos de chocolates.

Las incongruencias que existen en los resultados de este estudio pueden deberse a la influencia de otros parámetros (Tabla 6) que deben tenerse en cuenta.

**Tabla 6. Otros parámetros que influyen en la viscosidad del chocolate.**

<b>Muestra</b>	<b>Tiempo total de conchado (h)</b>	<b>Lecitina (%)</b>	<b>Fundición (kg)</b>	<b>Observaciones</b>
<b>B1</b>	3,5	0,28	NO	Manteca de cacao + lecitina
<b>B2</b>	4	0,27	NO	Manteca de cacao + lecitina
<b>B3</b>	4	0,2	173,5	NO
<b>BM1</b>	4	0,3	NO	NO
<b>BM2</b>	4	0,3	NO	NO
<b>L1</b>	9	0,29	161	Manteca de cacao
<b>L2</b>	9,6	0,29	74	Manteca de cacao
<b>L3</b>	6,5	0,27	310	NO
<b>LM1</b>	2,25	0,3	NO	NO
<b>LM2</b>	2,25	0,3	NO	NO
<b>N50.1</b>	12,25	0,29	60	NO
<b>N50.2</b>	9	0,3	NO	NO
<b>N55.1</b>	14,5	0,29	81	Lecitina
<b>N55.2</b>	8	0,29	116,8	NO
<b>N55.3</b>	10	0,29	90	Lecitina
<b>N70.1</b>	23	0,3	NO	NO
<b>N70.2</b>	10	0,29	54	NO

Estos parámetros son el tiempo total de conchado, el contenido de lecitina, la adición de fundición y la adición de manteca de cacao y lecitina cuando se produce un aumento de la temperatura del chocolate durante el conchado. Esta adición acorta el tiempo de las fases de conchado seco o plástico y adelanta la etapa de conchado líquido.

### Chocolate blanco

Puede apreciarse a simple vista (Tabla 7) las diferencias entre las propiedades de fluencia de las muestras de chocolate blanco B1 y B2 con B3. Según informó Beckett (2000) cuanto mayor es la cantidad de lecitina menor es la viscosidad, sin embargo, la muestra B3 tiene menor cantidad de lecitina y menor viscosidad plástica que las muestras B1 y B2. La razón de esta contrariedad puede deberse a la adición de 173,5 kg de fundición durante el conchado del chocolate B3.

**Tabla 7. Parámetros reológicos de las muestras de chocolate blanco.**

Muestra	Conchado líquido	Viscosidad plástica (Pa·s)	Esfuerzo umbral (Pa)	K (Pa·s)	n
<b>B1</b>	1 h	11,2 ± 1,1	24,25 ± 1,05	63,55 ± 0,85	0,348 ± 0,015
	mitad	12,3 ± 0,5	21,1 ± 0,6	66,8 ± 0,1	0,374 ± 0,008
	final	12,85 ± 0,85	21,45 ± 1,45	68,65 ± 0,65	0,38 ± 0,017
<b>B2</b>	1 h	14,3 ± 0,6	21,95 ± 0,85	71,95 ± 0,25	0,372 ± 0,009
	mitad	8,88 ± 0,015	23,25 ± 0,05	62,55 ± 0,05	0,34 ± 0,002
	final	7,85 ± 0,2	23,15 ± 0,15	59,45 ± 0,85	0,324 ± 0,002
<b>B3</b>	1 h	4,35 ± 0,15	17,2 ± 0,6	39,6 ± 0,4	0,284 ± 0,009
	mitad	3,78 ± 0,56	17,85 ± 1,85	38,8 ± 0,9	0,268 ± 0,026
	final	3,01 ± 0,07	19,55 ± 0,05	38,95 ± 0,05	0,239 ± 0,001

A pesar de que el tiempo de conchado es similar para los tres chocolates, en B1 y B2 se añade parte de la manteca de cacao y de la lecitina antes de tiempo por un aumento de temperatura del chocolate, aspecto que también puede haber influido en la viscosidad. Además, durante el conchado líquido los parámetros reológicos de cada chocolate sigue un comportamiento diferente, en B1 aumentan y, por el contrario, en B2 y B3 disminuyen.

Este comportamiento y las grandes diferencias en las propiedades de fluencia entre las tres muestras manifiestan una falta de regularidad en el producto que puede deberse a las distintas condiciones de elaboración, antes mencionadas, de cada uno de los chocolates. Esto puede derivar en problemas durante el bombeo y conducción del chocolate durante su elaboración y en variaciones en la calidad y textura del producto final.

### Chocolate con leche

En este caso, las tres muestras tienen propiedades reológicas similares (Tabla 8). Sin embargo, encontramos aspectos de su elaboración diferentes. En el conchado de L1 y L2 se añade parte de la manteca de cacao antes de tiempo, por alta temperatura del chocolate. L3 tiene un tiempo de conchado total inferior y mayor cantidad de fundición que L1 y L2. La uniformidad de los valores de los parámetros reológicos puede deberse a que la composición de la fundición añadida sea similar, aunque no puede llegarse a una conclusión, ya que estos parámetros afectan de manera diferente en cada tipo de chocolate.

Cabe mencionar las diferencias entre el chocolate con leche y el blanco. A pesar de que la fórmula de estos chocolates tiene bastantes similitudes, las propiedades de flujo de L1, L2 y L3 son claramente menores, lo que se traduce en un chocolate más líquido, que opone menor resistencia a fluir. Este comportamiento puede estar relacionado con la cantidad de mantequilla (el chocolate con leche contiene el doble que el blanco). Beckett (2000) informó de que la adición extra de grasa disminuye la viscosidad plástica.

**Tabla 8. Parámetros reológicos de las muestras de chocolate con leche.**

Muestra	Conchado líquido	Viscosidad plástica (Pa·s)	Esfuerzo umbral (Pa)	K (Pa·s)	N
L1	1 h	1,26 ± 0,02	5,47 ± 0,13	12,55 ± 0,15	0,411 ± 0,004
	mitad	1,24 ± 0,01	5,52 ± 0,01	12,55 ± 0,05	0,41 ± 0,002
	final	1,17 ± 0,01	5,73 ± 0,1	12,65 ± 0,15	0,398 ± 0,002
L2	1 h	1,30 ± 0,01	4,83 ± 0,14	11,25 ± 0,45	0,453 ± 0,019
	mitad	1,26 ± 0,01	4,86 ± 0,06	11,2 ± 0,3	0,451 ± 0,016
	final	1,23 ± 0,01	4,74 ± 0,04	10,65 ± 0,05	0,464 ± 0,002
L3	1 h	1,64 ± 0,02	5,75 ± 0,04	14,1 ± 0,1	0,445 ± 0,001
	mitad	1,42 ± 0,01	5,57 ± 0,03	13,2 ± 0,1	0,432 ± 0,001
	final	1,40 ± 0,01	5,76 ± 0,01	13,4 ± 0,1	0,426 ± 0,001

### Chocolate negro 50%

Las características de estos chocolates son similares y siguen el mismo comportamiento a lo largo del conchado líquido, ambos sufren un descenso de sus parámetros reológicos (Tabla 9).

Sus elaboraciones son muy similares, aunque N50%1 tiene un tiempo de conchado total mayor y lleva una pequeña cantidad de fundición, parece que en este caso no afectan a las propiedades de fluencia.

**Tabla 9. Parámetros reológicos de las muestras de chocolate negro 50%.**

Muestra	Conchado líquido	Viscosidad plástica (Pa·s)	Esfuerzo umbral (Pa)	K (Pa·s)	N
N50%1	1 h	7,76 ± 0,01	26,4 ± 0,2	64,25 ± 0,05	0,302 ± 0,002
	mitad	6,78 ± 0,45	26,9 ± 0,5	62,05 ± 0,65	0,286 ± 0,006
	final	6,41 ± 0,2	27,75 ± 0,35	62,1 ± 0,1	0,278 ± 0,005
N50%2	1 h	8,03 ± 0,46	22,65 ± 1,45	59 ± 1,1	0,322 ± 0,014
	mitad	6,22 ± 0,01	25,25 ± 0,85	58,4 ± 1,3	0,282 ± 0,004
	final	6,02 ± 0,16	26,05 ± 0,25	58,35 ± 0,15	0,278 ± 0,005

Los valores de sus parámetros reológicos son similares a los del chocolate blanco, a pesar de las diferencias en la composición de ingredientes de ambos chocolates.

#### Chocolate negro 55%

Existe cierta uniformidad en los valores de las propiedades de fluencia de las tres muestras (Tabla 10), aunque el tiempo total de conchado de N55%1 (14,5 h) es bastante mayor a de N55%2 (8). La adición de lecitina antes de tiempo en las muestras N55%1 y N55%3 tampoco ha producido valores dispares respecto a N55%2. La adición de fundición en los tres chocolates tampoco ha causado variaciones en los parámetros reológicos, puede ser debido a que no hay una diferencia muy grande en las cantidades de función que lleva cada uno y a que la composición de la fundición puede haber sido similar en los tres casos.

**Tabla 10. Parámetros reológicos de las muestras de chocolate negro 55%.**

Muestra	Conchado líquido	Viscosidad plástica (Pa·s)	Esfuerzo umbral (Pa)	K (Pa·s)	n
N55%1	1 h	7,12 ± 0,13	25,6 ± 0,1	61 ± 0,4	0,296 ± 0,002
	mitad	6,25 ± 0,14	26,45 ± 0,65	59,75 ± 0,55	0,280 ± 0,005
	final	6,34 ± 0,06	25,85 ± 0,45	59,1 ± 0,4	0,283 ± 0,003
N55%2	1 h	7,24 ± 0,15	20,7 ± 0,9	53,65 ± 1,85	0,318 ± 0,002
	mitad	6,62 ± 0,16	21 ± 0,2	52,35 ± 0,15	0,308 ± 0,004
	final	5,96 ± 0,27	21,55 ± 0,25	50,25 ± 0,35	0,295 ± 0,006
N55%3	1 h	6,36 ± 0,08	25,65 ± 0,15	58,8 ± 0,1	0,284 ± 0,002
	mitad	6,20 ± 0,17	25,7 ± 0,2	58,35 ± 0,75	0,280 ± 0,002
	final	6,61 ± 0,07	26,2 ± 0,2	60,4 ± 0,5	0,285 ± 0,001

Como es de esperar, los valores de la viscosidad plástica, esfuerzo umbral, índice de consistencia e índice de comportamiento de flujo del chocolate negro 55% y 50% son similares debido a que su composición de ingredientes es muy parecida.

El elevado valor de la viscosidad plástica y el esfuerzo umbral de los chocolates blanco, negro 50% y negro 55% puede suponer problemas en el bombeo, conducción y dosificación de estos chocolates. Las otras muestras de chocolate tienen unos



valores de fluencia más bajos, lo que se traduce en que oponen una resistencia a fluir menor.

### Chocolate negro 70%

Existen grandes diferencias entre el esfuerzo umbral y el índice de consistencia de N70%1 y N70%2 (Tabla 11). Cabría esperar N70%1 presentase una viscosidad plástica y un índice de flujo menores que N70%2, puesto que su tiempo total de conchado (23 h) es más del doble que el de N70%2 (10 h). Esto ha podido deberse a la adición de fundición en N70%2, ya que el resto de sus parámetros son similares.

**Tabla 11. Parámetros reológicos de las muestras de chocolate negro 70%.**

Muestra	Conchado líquido	Viscosidad plástica (Pa·s)	Esfuerzo umbral (Pa)	K (Pa·s)	n
N70%1	1 h	1,98 ± 0,02	9,89 ± 0,21	23,15 ± 0,25	0,379 ± 0,005
	mitad	1,94 ± 0,01	10,05 ± 0,05	23,25 ± 0,05	0,374 ± 0,001
	final	1,88 ± 0,01	10,05 ± 0,05	23,05 ± 0,05	0,371 ± 0,001
N70%2	1 h	1,28 ± 0,01	6,68 ± 0,08	15,4 ± 0,1	0,373 ± 0,002
	mitad	1,27 ± 0,01	6,56 ± 0,03	15,15 ± 0,05	0,374 ± 0,001
	final	1,29 ± 0,01	6,68 ± 0,09	15,4 ± 0,1	0,374 ± 0,002

Hay que mencionar la similitud entre la viscosidad plástica del chocolate negro 70% y el chocolate con leche, aunque el resto de los parámetros presentan grandes diferencias. Este aspecto no resulta lógico, puesto que el chocolate con leche tiene un porcentaje de grasa mayor (manteca de cacao y mantequilla) y Beckett (2000) informó de que este ingrediente produce un descenso de la viscosidad.

A pesar de que la fórmula de los tres chocolates negro son similares, las propiedades de fluencia del chocolate negro con un 70% de cacao muestran grandes diferencias con el negro 50% y 55%. El motivo puede ser la mayor cantidad de manteca de cacao que tiene el N70%.

## **5. CONCLUSIONES**

Todas las muestras de chocolate tienen un comportamiento reológico que se ajusta al modelo de Casson y su índice de comportamiento de flujo (n) indica que tienen un comportamiento pseudoplástico,  $n < 1$ .

Los parámetros reológicos del chocolate, el tamaño de partícula y el porcentaje de humedad no se ven afectados por el tiempo de conchado líquido. El chocolate sufre una reducción de la viscosidad durante la etapa de conchado pero una vez que la grasa es liberada y recubre todas las partículas sólidas que conforman el chocolate,

Las propiedades reológicas se mantienen casi constantes. Por el contrario, se puede afirmar que el tamaño de partícula, el contenido de humedad y las propiedades de fluencia del chocolate si se ven influenciados por la composición de ingredientes del chocolate. La adición de lecitina y manteca de cacao temprana por un exceso de temperatura, la adición de fundición y el tiempo de conchado total podrían afectar a los parámetros reológicos.

Las viscosidades de los diferentes chocolates muestran resultados dispares, incluso dentro del mismo tipo de chocolate, como es el caso del chocolate blanco, lo que puede suponer problemas en la industria, tanto en el proceso de producción a nivel de conducción, bombeo y dosificación del chocolate, como en la calidad del producto terminado. Se observa una falta clara de regularidad en la elaboración de los chocolates, un tema que la empresa debe trabajar más.

No existen unas conclusiones claras por las desigualdades que existen en las condiciones de elaboración de las muestras. Se debería seguir una metodología de elaboración del chocolate más uniforme y en un futuro, realizar un estudio en más profundidad, con más tiempo y con una recogida de muestras más regular.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Chocolates Trapa haberme dado la oportunidad de poder poner en práctica los conocimientos estudiados durante el máster, permitiéndome comprender muchos aspectos y conceptos teóricos.

Dar las gracias a todas las personas con las que he trabajado, por el trato excepcional que he recibido y por todo lo que he aprendido de ellos, en especial al maravilloso equipo que forma el Departamento de Calidad y a mi tutora durante las prácticas en Chocolates Trapa, Isabel Alonso.

Por último, agradecer a mi tutor académico, Manuel Gómez Pallarés, toda su ayuda para la realización de este trabajo.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Abbasi, S., & Farzanmehr, H. (2009). Optimization of the formulation of prebiotic milk chocolate based on rheological properties. *Food Technology and Biotechnology*, 31(4), 396-403.

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2009). Comparison of rheological models for determining dark chocolate viscosity. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(1), 162-167.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2008). Relationship between rheological, textural and melting properties of dark chocolate as influenced by particle size distribution and composition. *European Food Research and Technology*, 227(4), 1215-1223.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., & Fowler, M. (2007). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate – a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(6), 290-298.
- Beckett, S. T. (2000). La ciencia del chocolate. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Chevalley, J. (1988). Propiedades de fluencia del chocolate. En S. T. Beckett, *Fabricación y utilización industrial del chocolate*, 1, 159-177. Zaragoza, España.
- El-Kalyoubi, M., Khallaf, M., Abdelrashid, A., & Mostafa, E. M. (2011). Quality characteristics of chocolate–Containing some fat replacer. *Annals of Agricultural Sciences*, 56(2), 89-96.
- Gao, X., Guo, T., Han, F., Tian, Y., & Zhang, Z. (2015). Rheological and sensory properties of four kinds of dark chocolates. *American Journal of Analytical Chemistry*, 6(13), 1010-1018.
- Glicerina, V., Balestra, F., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2013). The influence of process steps on microstructural, rheological and thermal properties of dark chocolate. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 17(2), 59-63.
- Gomes, C. R., Vissotto, F. Z., Fadini, A. L., Faria, E. V., & Luiz, A. M. (2007). Influence of different bulk agents in the rheological and sensory characteristics of diet and light chocolate. *Food Science and Technology (Campinas)*, 27(3), 614-623.
- Gonçalves, E. V., & Lannes, S. C. S. (2010). Chocolate rheology. *Food Science and Technology (Campinas)*, 30(4), 845-851.
- Hoskin, J. C., & Dimick, P. S. (1988). Química del desarrollo de sabor en el chocolate. En S. T. Beckett, *Fabricación y utilización industrial del chocolate*, 1, 121-135. Zaragoza, España.
- Lannes, S., Medeiros, M., & Gioielli, L. (2004). Rheological properties of cupuassu and cocoa fats. *Grasas y Aceites*, 55(2), 115-121.

- Loncarevic, I., Pajin, B., Dokic, L., Seres, Z., Fistes, A., Simovic, D. S., & Krstonosic, V. (2014). Rheological and textural properties of cocoa spread cream with sinflower lecithin. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 7(4), 47-50.
- Macht, M., & Dettmer, D. (2006). Everyday mood and emotions after eating a chocolate bar or an apple. *Appetite*, 46(3), 332-336.
- Muller, M. (1978). Introducción a la reología de los alimentos. Zaragoza, España.
- Nebesny, E., & Żyżelewicz, D. (2005). Effect of lecithin concentration on properties of sucrose-free chocolate masses sweetened with isomalt. *European Food Research and Technology*, 220(2), 131-135.
- Quiñones-Muñoz, T., Gallegos-Infante, J., Rocha-Guzmán, N., Ochoa-Martínez, L., Morales-Castro, J., González-Laredo, R., & Medina-Torres, L. (2011). Mixing and tempering effect on the rheological and particle size properties of dark chocolate coatings. *CyTA-Journal of Food*, 9(2), 109-113.
- Sokmen, A., & Gunes, G. (2006). Influence of some bulk sweeteners on rheological properties of chocolate. *LWT-Food Science and Technology*, 39(10), 1053-1058.
- Valenzuela B, Alfonso. (2007). El chocolate, un placer saludable. *Revista chilena de nutrición*, 34(3), 180-190.
- Vivar-Vera, G., Torrestiana-Sanchez, B., Monroy-Rivera, J. A., & Brito-De la Fuente, E. (2008). Conching: Rheological and structural changes of chocolate mass. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 104(8), 376-382.