

# Efecto de diferentes emulsificantes en las propiedades reológicas y la eflorescencia grasa del chocolate oscuro

## Effect of different emulsifiers on rheological properties and fat bloom of dark chocolate

<sup>1</sup>Gabriela C. Chire Fajardo y <sup>2</sup>Richard W. Hartel

### Resumen

El presente estudio experimental investigó el efecto de los emulsificantes Lecitina de soya y polirricinoleato de poliglicerol (PGPR), utilizados en proporciones de 0,1% y 0,3% en las propiedades reológicas y la eflorescencia grasa en chocolate oscuro. Las muestras fueron preparadas en el laboratorio a las mismas condiciones. Se evaluó el efecto con respecto a sus parámetros reológicos de viscosidad plástica y valor mínimo de Casson del chocolate oscuro medidos a 40 °C, usando el reómetro rotacional Brookfield, a 0,3% PGPR se observó parámetros de Casson menores en todos los casos y a 0,1% de PGPR fueron menores comparados con lecitina de soya. Los chocolates fueron almacenados en una cámara a temperaturas cíclicas de 19 a 29 ± 1 °C cada 6 horas y humedad relativa de 50 a 60%. Posteriormente se evaluó su efecto con respecto a la eflorescencia grasa en el chocolate definido como índice de blancura (IB) y brillo (UB) superficial medidos con un colorímetro y un goniómetro, respectivamente. Para la medición del índice de blancura se consideró un tiempo de 100 días y para el brillo de 75 días. Los resultados obtenidos indicaron que existe una influencia particular de un grupo de PGPR a dosis de 0,1% que contribuyeron con el retardo de la eflorescencia grasa y la pérdida de brillo del chocolate oscuro.

**Palabras clave:** color, brillo, viscosidad, emulsificante, lecitina de soya, polirricinoleato de poliglicerol (PGPR).

### Abstract

The effect of different emulsifiers, soy lecithin as a controller and polyglycerol polyricinoleate (PGPR) at 0,1% and 0,3% on rheological properties and fat bloom of dark chocolate was studied. The samples were prepared in the laboratory at same conditions. Rheological parameters: plastic viscosity and yield value following Casson theory were measured with digital Brookfield rheometer, performed were at 40 °C, at 0,3% PGPR the Casson rheological parameters were minimum in each emulsifiers, at 0,1% were less than soy lecithin. Chocolate samples were placed in the chamber at cycling temperature from 19 to 29 ± 1 °C every 6 hours and relative humidity from 50 to 60%. Later, the assessment was made on fat bloom chocolate, which depends on changes in whiteness index (WI) and gloss (GU) during storage time, measured by colorimeter and multi-Gloss 268 meter. It tooks around 100 days for whiteness index and 75 days for gloss. These results showed that some PGPR at 0,1% can prevent bloom development and contribute to a better gloss in storage time.

**Key words:** color, gloss, viscosity, emulsifier, soy lecithin, polyglycerol polyricinoleate (PGPR).

### 1. Introducción

Chocolate es una dispersión de partículas sólidas muy finas los que incrementan la viscosidad de la mezcla de chocolate líquida considerablemente. Una reducción en la viscosidad del chocolate es importante para los efectos de bañado y moldeado, desde el punto de vista económico y de eficiencia en la producción (Gaonkar y Mapherson, 2006). Beckett (2008) dice que la viscosidad ( $\eta$ ) se define como la relación entre el esfuerzo de cizalla y la gradiente de deformación. El chocolate tiene el comportamiento de fluencia líquido Bingham, requiere de una fuerza considerable para empezar a fluir; pero una vez que empieza a moverse, mientras mayor sea la fuerza, más fluido se vuelve el chocolate, por lo tanto la viscosidad esta definida por la velocidad a la que fluye y

se describe por una expresión matemática, siendo la más utilizada la ecuación de Casson.

La mayoría de los chocolates contienen entre 25 y 35% de grasa, para un contenido de grasa por encima de 32%, los cambios en la viscosidad son pocos. En el chocolate no hay casi agua, de modo que el emulsificante actúa de un modo diferente. Algunos emulsificantes importantes que son usados mayormente en chocolates son:

Lecitina de soya: es una mezcla de fosfogliceridos naturales y aceite de soya, se encuentra disponible comercialmente como lecitina fraccionada. La fracción de la lecitina compuesta por la fosfatidilcolina se ha mostrado particularmente efectiva en la reducción de la viscosidad plástica de algunos chocolates oscuros, mientras que otras fracciones han demostrado tener un efecto negativo

<sup>1</sup>Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Email: [gchire@lamolina.edu.pe](mailto:gchire@lamolina.edu.pe)

<sup>2</sup>Department of Food Science. University of Wisconsin-Madison, Madison, USA.

concretamente sobre el umbral de fluencia. Se afirma que adiciones de 0,1% a 0,3% de lecitina de soya reducen la viscosidad de la manteca de cacao en más de 10 veces su mismo peso (Beckett, 2008). Según Lonchamp y Hartel (2004) la lecitina comercial es una mezcla que contiene principalmente fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina y fosfatidilinositol. Libre de ácidos grasos, también representa un componente importante (normalmente más del 30%) en lecitina. Es el emulsificante más común en chocolates y es usado por sus efectos en reología y eflorescencia grasa.

Polirricinoleato de poliglicerol (PGPR): es uno de los emulsificantes más hidrófobos y está aprobado para ser usado en chocolates (Lonchamp y Hartel, 2004). Es considerado un controlador reológico por su efecto en el valor mínimo del chocolate (Hasenhuetti y Hartel, 1997). Según Beckett (2008) el PGPR también conocido como Admul-WOL es un emulgente-agente con actividad de superficie muy diferente. Aunque tiene un efecto relativamente pequeño en la viscosidad plástica, presenta un efecto espectacular sobre el umbral de fluencia. Con solo 0,2% en el chocolate, éste puede tener la mitad de umbral de fluencia que tendría con la lecitina y se ha observado que 0,8% lo elimina por completo, convirtiendo al chocolate en un líquido newtoniano. Los polirricinoleato de poliglicerol han sido el resultado de una gran cantidad de estudios que todavía no se comprenden por completo, su efecto es muy importante y puede ser útil o no deseable según la aplicación.

Antes del moldeo, el chocolate fundido ha de ser atemperado, esta operación consiste en inducir la pre-cristalización parcial de la manteca de cacao, por tanto su viscosidad aumenta y es en este estado en el que se utiliza el chocolate para el moldeo. Beckett (2009) declara que es importante tener suficientes semillas de manteca de cacao estables polimórficamente para empezar la nucleación de las formas beta estables en la grasa remanente. Minifie (1999) manifiesta que un buen chocolate atemperado contiene aproximadamente 3 a 8% de cristales de manteca de cacao. Un instrumento desarrollado para confirmar este fenómeno es el medidor de atemperado, que se basa bajo el principio de condiciones controladas de enfriamiento del chocolate, en el que hay una relación entre la curva de enfriamiento y el grado de atemperado, donde la muestra es tomada directamente de la máquina de moldeo o de la bañadora de chocolate.

Según Seguine, citado por Lonchamp y Hartel (2004), define "buen atemperado" al chocolate que debe tener un gran número de pequeños cristales posibles y esos cristales deben tener la forma cristalina correcta (forma V). En este caso el chocolate cristaliza rápidamente con una contracción máxima y el producto final tiene un alto brillo con buena resistencia a la eflorescencia y a la migración de grasa (en el caso de chocolates rellenos). El chocolate líquido se enfría desde 50 a 32 °C bajo agitación constante, luego la temperatura es reducida a 28 °C para permitir la formación de cristales de cacao estables; después se aumenta la temperatura de nuevo a 30 – 32 °C para promover el crecimiento de los cristales

(Manning and Dimick, 1985; De Bruijne y Bot, 2001; Miquel *et al.*, 2001).

La eflorescencia o florecimiento de la grasa es un proceso de recristalización de la grasa que provoca que la superficie de un chocolate se vuelva apagada y aparentemente cubierta por una película gris. Este fenómeno no solo es superficial sino que permanece en todo el seno del chocolate (De Bruijne y Bot, 2001). La manteca de cacao posee seis diferentes formas cristalinas: I, II, III, IV, V y VI, las formas inestables son: I a IV y las formas V y VI son las más estables y son las más densas, de modo que el chocolate se contraerá. Aún así parte de la manteca de cacao se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente y además, cuando la grasa pasa a un estado energético más bajo, se libera algo de energía (Beckett, 2008). Allí forma grandes cristales que le dan la apariencia blanca a la eflorescencia grasa del chocolate, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Eflorescencia grasa del chocolate

Lonchamp y Hartel (2004), manifiesta que las temperaturas de almacenamiento para chocolates son tres, cada una con diferente intensidad para la eflorescencia grasa: temperaturas bajas (menores a 18 °C), temperaturas medias (menores a 18 °C y hasta 30 °C) y temperaturas altas (mayores a 32 - 34 °C). Las temperaturas medias, zona debajo del punto de fusión de los cristales  $\beta$ V, la eflorescencia ocurre más rápidamente con un incremento de la temperatura. Los métodos disponibles para la medición del color son aquellos que mejor miden la opacidad dando un valor promedio del color sobre el área de la muestra (Briones *et al.*, 2006). El brillo es un fenómeno óptico relacionado con la apariencia de una superficie y representa la capacidad de una superficie de reflejar la luz directamente (ASTM, 1995). Para medir el brillo del chocolate se recomienda 60° de incidencia con la fuente de luz Illuminant C (Beckett, 1994). Es un importante atributo en la calidad del chocolate y el atemperado un proceso clave para controlarlo (Beckett, 2008).

Pocos son los estudios documentados sobre los efectos de los emulsificantes en las propiedades reológicas y en la eflorescencia grasa en chocolate oscuro, por lo que en este estudio se buscó conocer los efectos usando los emulsificantes: Lecitina de soya estándar y polirricinoleato de poliglicerol a dosis de 0,1% y 0,3%

en la viscosidad y valor mínimo de Casson así como en el chocolate oscuro sometido a un almacenamiento acelerado con respecto a la eflorescencia grasa, expresado como: índice de blancura y brillo superficial.

## 2. Materiales y métodos

Materias primas: Pasta de chocolate oscuro conteniendo 26% de grasa (p/p) sin adición de emulsificante (Guittard Chocolate, Burlingame, CA, USA), manteca de cacao (Ecuador), lecitina de soya y polirricinoleato de poliglicerol (PGPR) (Lonza Group).

Equipos: Mezclador; medidor de atemperado; baño de agua fría: VWR Scientific Model 1162, de -20 a 100 °C; baño de agua caliente: VWR 1130; torque controlador: Master Serrodyne de 0 a 300 rpm, multivolt de 0 a 180; termocuplas digi-sense, computadora: Program hyper terminal; reometro digital Brookfield HATD; colorímetro Hunter Associates Laboratory, Inc. (Reston Virginia); goniofotómetro: Multigloss 268 Minolta; cámara (19 a 29 °C cada 6 horas).

### Métodos de análisis:

Atemperado y la curva de enfriamiento. El atemperado de la pasta de chocolate se realizó de acuerdo a la técnica propuesta por Miquel *et al.* (2001) y por Chire y Hartel (2010). La curva de enfriamiento se realizó al finalizar el atemperado (Lonchampt y Hartel, 2004), se sacó una muestra de chocolate y se introdujo en un cilindro de cobre y una termocupla (para registrar la temperatura interna en el centro geométrico de la masa de chocolate) se cerró herméticamente el cilindro con tapones, de inmediato el cilindro fue sumergido en un baño de agua fría a 0 °C acompañado externamente de la segunda termocupla; en ese mismo momento se realizaron los registros de temperaturas de ambos puertos para así obtener la curva de enfriamiento del chocolate y del agua, que posteriormente se llevó a una hoja de cálculo.

Parámetros reológicos. Se llenó de pasta de chocolate las  $\frac{3}{4}$  partes del cilindro del reometro, se realizó las lecturas en forma ascendente y descendente. Los parámetros reológicos viscosidad plástica y valor mínimo de Casson fueron medidos a 40 °C por 10 minutos (reometro digital, Brookfield HATD); se estableció la medida del equipo en valor cero; se ajustó usando 10 rpm o 20 rpm por 5 minutos; empezó la medición primero ascendente desde 0,5 rpm hasta la máxima velocidad por 20 segundos cada una. Se registró la lectura, en torques (T), luego la medición descendente desde la máxima velocidad alcanzada hasta 0,5 rpm por 20 segundos cada una, se registró la lectura en torques, posteriormente se transformó a valores D y t, los que se graficaron en una hoja de cálculo. Realizando un análisis de regresión lineal, se obtuvo la Ecuación de Casson modificada por Stainer para cada una de las muestras.

Eflorescencia grasa. Fue medida en las muestras de chocolate circulares usando: el colorímetro (Hunter Associates Laboratory Inc.), calibrado con cerámica negra, blanca y otros colores; las imágenes de color de

las superficies de chocolate fueron convertidas a sistema CIELAB: L\* rango de luminosidad de 0 (negro) a 100 (blanco), a\* define el componente rojo-verde y b\* define el componente amarillo-azul con valores de -120 a 120. El promedio de los valores L\*, a\* y b\* de ocho muestras a cuatro diferentes posiciones con ángulo de 90° y su desviación estándar fueron reportados. Con los datos obtenidos se calculó el índice de blancura (IB=WI) según Lohman y Hartel (1994). La ecuación es:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

Así como el brillo en la superficie del chocolate oscuro (Goniofotómetro Multi-gloss 268 Minolta), en términos de reflectancia, a un ángulo de luz incidente de 60° de la superficie normal del chocolate (método ASTM D523). El brillo fue reportado como unidades de brillo (UB) basada en determinaciones de ocho muestras con tres diferentes posiciones sobre la superficie del chocolate oscuro.

Análisis Estadístico. Los valores respuesta se expresaron con media  $\pm$  desviación estándar para cada tratamiento. Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) ( $p \leq 0,05$ ) para determinar la diferencia entre los tratamientos. El programa STATGRAPHICS Plus® fue utilizado para realizar el análisis estadístico respectivo.

### Metodología experimental:

Las muestras fueron preparadas usando una cantidad de 1200 g de chocolate oscuro derretido entre 60 a 70 °C en una estufa por 60 minutos, luego fueron mezcladas con manteca de cacao fundida hasta obtener el 32% de grasa total. Se incorporó el emulsificante (0,1 y 0,3%) a evaluar en un mezclador de 50 a 60 °C por dos horas para obtener un producto homogéneo. Se siguió la metodología de la investigación del chocolate oscuro (Figura 2). El chocolate fue atemperado, una parte de la masa fue destinada a determinar las propiedades reológicas, otra parte a colocar en moldes plásticos circulares de 5 cm de diámetro, 0,5 cm de altura con un peso de 15 g de producto para moldear a temperatura ambiente; una agitación manual vigorosa fue requerida para evitar la presencia de burbujas de aire, los moldes fueron llevados a una cámara (5 a 10 °C) por un tiempo de 25 a 30 minutos (proceso acelerado), se desmoldaron en bandejas de plástico en un ambiente fresco y seco (50-60% humedad relativa) obteniendo chocolates tableteados circulares. Posteriormente se evaluaron las características iniciales de apariencia: índice de blancura (IB) y brillo (UB) antes de colocar los chocolates en la cámara cíclica (19 °C por 6 horas y 29 °C por otras 6 horas y hasta alcanzar las 24 horas del día, con humedad relativa de 50 a 60%, que desarrollaron "condiciones aceleradas"). Se sacaron las muestras de la cámara a temperatura de 19 °C, se evaluó la cinética de degradación del producto con respecto a índice de blancura (IB) y brillo (UB). Se graficó los promedios de los cambios del índice de blancura (IB) y del brillo (UB), descritos en el tiempo así como sus diferencias.

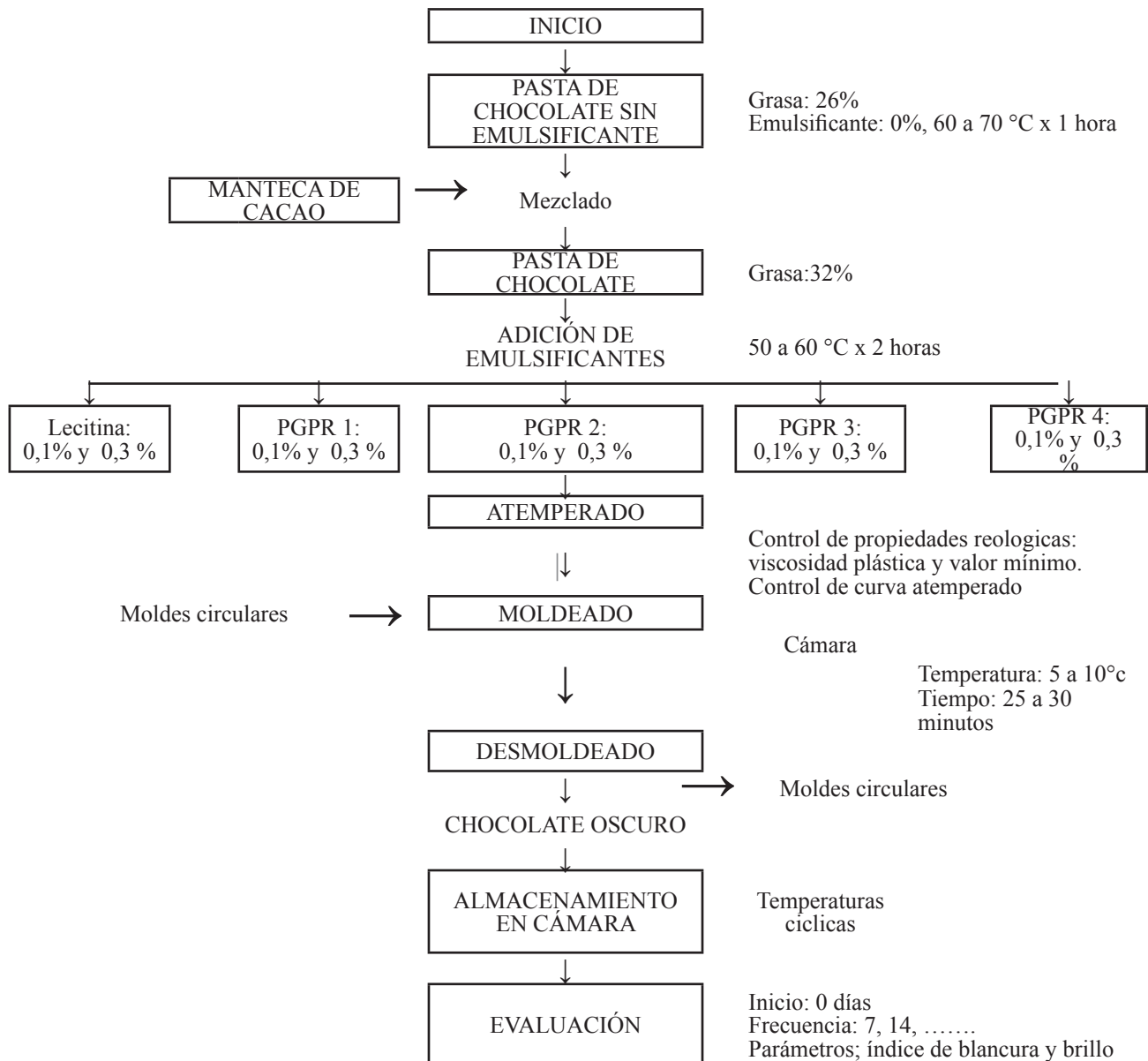


Figura 2. Metodología de la Investigación

### 3. Resultados y discusión

La mezcla de pasta de chocolate, manteca de cacao y emulsificantes fueron empleados. Un cierto nivel de grasa ayudó al control en el atemperado, para pasta de chocolate de 30 a 35% de grasa, los efectos son mínimos en el comportamiento del atemperado (Afoakwa *et. al.*, 2008), el estudio se realizó con pasta de chocolate estándar en todos los casos (32% de grasa). Por otro lado, mayores niveles de emulsificantes (mayores a 0,4%) deja un gusto amargo o desagradable (Richter *et. al.*, 2007), en el estudio se trabajó con 0,1 y 0,3% de emulsificantes (Tabla 1). Los diferentes tipos de PGPR fueron mezclas apropiadas en diferentes proporciones de polímeros ácidos y polímeros de glicerol, las que se definieron con los códigos PGPR 1, PGPR2, PGPR 3 y PGPR 4.

Tabla 1. Características de los emulsificantes utilizados en el chocolate oscuro

Nombre	Dosis	Características	Viscosidad plástica	Valor mínimo
Lecitina	0,1	Lecitina de soya estándar		
Lecitina	0,3	Lecitina de soya estándar		
PGPR 1	0,1	Decaglicerol	2287	54.1
PGPR 1	0,3	Decaglicerol	2287	54.1
PGPR 2	0,1	Diglicerol	2270	144.6
PGPR 2	0,3	Diglicerol	2270	144.6
PGPR 3	0,1	Emusol SW 340		
PGPR 3	0,3	Emusol SW 340		
PGPR 4	0,1	Palsgaard 4 125		
PGPR 4	0,3	Palsgaard 4 125		

Donde:  
 Viscosidad plástica: Pa-seg  
 Valor mínimo: Pa



### Curva de enfriamiento

Se registró la curva de enfriamiento de cada tratamiento del chocolate atemperado (Figura 3) denominado “buen atemperado”, la que es importante porque previene la eflorescencia grasa (Lonchamp y Hartel, 2004), sin afectar el resultado final. En la curva de enfriamiento, la velocidad de la temperatura del chocolate fue bajando, por efecto del frío (de 0 °C), es decir el chocolate perdió calor, se endureció y la temperatura del agua helada (parte baja, Figura 3) se mantuvo constante por el tiempo del control.

Las muestras de chocolate se atemperaron para promover la cristalización de la manteca de cacao en una forma estable (V), se obtuvo un adecuado chocolate oscuro: buen quiebre al partirse, color, contracción y brillo, evitando así todo tipo de interferencias al momento de la evaluación (Figura 4).

### Propiedades reológicas

La Tabla 2 muestra los resultados del valor mínimo ( $\zeta$ ) y de la viscosidad plástica ( $\eta$ ) de Casson del chocolate oscuro con la adición de los emulsificantes lecitina de soya y PGPR en: 1 y 3 g/kg de producto.

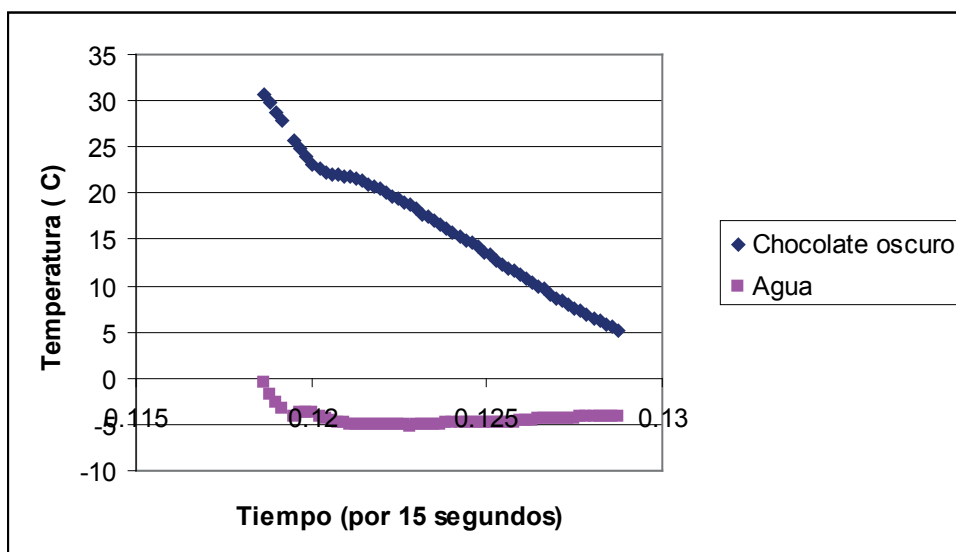
A mayor cantidad de emulsificante (PGPR) el valor mínimo de Casson disminuyó drásticamente. Este fenómeno se aprecia con claridad en las muestras que contienen PGPR 1 cuyo valor mínimo disminuyó un 87% es decir de 17,64 Pa (0,1%) hasta 2,25 Pa (0,3%), seguida de PGPR 4 cuyo valor disminuyó en 88%, de 23,48 Pa (0,1%) hasta un valor de 2,85 Pa (0,3%), valores similares a los encontrados por Schantz *et al.* (2003) que para un tipo de PGPR en el que disminuyó un 70% aproximadamente de 20 Pa (0,1%) a 6 Pa (0,3%) sin embargo hay que mencionar que otros dos tipos de PGPR la reducción fue menor y alrededor del 50% (PGPR 2 y PGPR 3). La lecitina de soya no tiene mayor efecto significativo en el valor mínimo de Casson, más

su disminución afecta al valor de viscosidad plástica reduciendo en este estudio en 41%, es decir de 64,30 Pa.s (0,1%) a 38,20 Pa.s (0,3%) mientras que el estudio de Schantz *et al.* (2003) se obtuvieron valores de reducción de un 20% aproximadamente. Por otra parte, Schantz *et al.* (2005), en el estudio de mezclas de emulsificantes sobre las propiedades reológicas, nos confirma que el PGPR parece ser el más efectivo en el valor mínimo correspondiendo a una mayor concentración de PGPR y con respecto a la viscosidad plástica la reducción más eficiente se desarrolló con el uso de lecitina de soya, especialmente para dosis bajas e intermedias. En el presente estudio, el uso de PGPR 1 llegó a un valor mínimo, el más bajo a 3g/kg de chocolate oscuro, sin embargo a dosis de 1g/kg de PGPR 1 el valor mínimo de Casson fue menor con respecto al emulsificante lecitina de soya estándar siendo una ventaja para el moldeo de figuras con formas caprichosas.

**Tabla 2.** Resultados reológicos de las muestras de chocolate oscuro utilizando los emulsificantes

Tipo de emulsificante	Parámetros reológicos	Concentración de emulsificantes (g/kg)	
		1	3
Lecitina	$\zeta$ (Pa)	33.30	23.31
	$\eta$ (Pa.s)	64.30	38.20
PGPR 1	$\zeta$ (Pa)	17.64	2.25
	$\eta$ (Pa.s)	51.00	38.60
PGPR 2	$\zeta$ (Pa)	34.60	17.12
	$\eta$ (Pa.s)	87.40	47.20
PGPR 3	$\zeta$ (Pa)	33.28	3.45
	$\eta$ (Pa.s)	87.20	53.90
PGPR 4	$\zeta$ (Pa)	23.48	2.85
	$\eta$ (Pa.s)	76.60	44.20

Donde:  
 $\zeta$  = Valor mínimo de Casson  
 $\eta$  = Viscosidad plástica



**Figura 3.** Curva de enfriamiento de chocolate oscuro

### Eflorescencia grasa

La evaluación de las características de apariencia del chocolate oscuro se empezó a medir desde el momento que salió el producto del molde, considerado como día 0 (Figura 4), luego se almacenó en la cámara (el tiempo de estabilización de la temperatura, una vez llegada a la nueva temperatura fue de 15 minutos) (Figura 5). Las características de apariencia iniciales del chocolate oscuro en índice de blancura y brillo, muestran que tiene un color marrón intenso parejo, así como un brillo resultado de un buen atemperado. Para que los chocolates se mantengan con la apariencia especificada anteriormente se debió mantener el producto a condiciones óptimas de almacenamiento (18 °C y 50 a 60%); pero en este caso las muestras fueron colocadas a condiciones aceleradas con la finalidad de inducir la eflorescencia grasa en el chocolate.

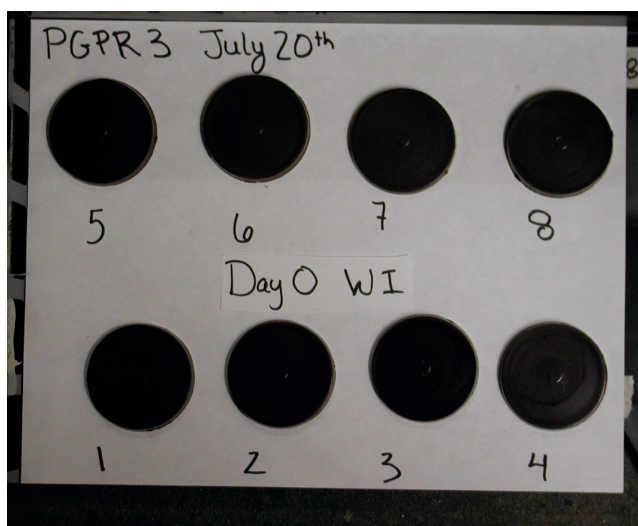


Figura 4. Muestras iniciales de chocolate oscuro en el



Figura 5. Muestras de chocolate oscuro en cámara a condiciones aceleradas

Las muestras de chocolates a condiciones aceleradas, solo fueron sacadas de la cámara cuando la temperatura alcanzó 19 °C debido a que fue la temperatura más fría y similar a la temperatura medio ambiental (19 a 20 °C), de lo contrario si se hubieran retirado los chocolates a la temperatura de 29 °C, la grasa se hubiera fundido y por consecuencia la medición se hubiera distorsionado, así mismo hubiera afectado la mediciones posteriores.

Índice de Blancura (IB). Se evaluó desde el día 0 hasta un tiempo de 100 días aproximadamente, cuando los valores de ésta variable se mantuvieron constantes (Figura 6). El color blanco superficial en el chocolate oscuro fue incrementándose en el tiempo, por acción de los cambios de temperaturas en la cámara a condiciones aceleradas. Se definió la evaluación del índice de blancura del chocolate en el tiempo, a los días: 0, 7, 14 y siguientes. Después de los catorce días que las muestras fueron almacenadas, un color blanco en la superficie del chocolate oscuro se observó a simple vista y este fenómeno fue incrementándose en el tiempo, de forma similar el estudio de Lonchampt y Hartel (2006) pero con menor intensidad, en chocolate atemperado inadecuadamente reportó una curva del índice de blancura con el tiempo (40 días), se mostró tres partes: la primera de inducción, no hay puntos blancos sobre la superficie del chocolate (valores constantes de IB menores a 30 a los siete días), seguida de crecimiento exponencial del índice de blancura (número y diámetro de puntos blancos se incrementan rápidamente) y finalmente puntos completamente cubiertos en la superficie del chocolate con un máximo valor de índice de blancura.

Como se puede observar, para los diferentes tipos de emulsificantes usados a 0,1% y 0,3%; el índice de blancura vario con el uso de uno u otro emulsificante (Figura 6). El uso de 0,1% de PGPR 2 en el chocolate oscuro reportó valores menores de IB en el tiempo, llegando a un valor de  $22,6 \pm 0,1$ ; seguido de 0,3% de PGPR 4 con un valor de  $23,6 \pm 0,0$  (Figura 6<sup>a</sup>), ambos definiendo estos valores como constantes entre las 12-12,5 semanas. Sin embargo el uso de 0,3% de lecitina de soya estándar en el chocolate oscuro reportó un valor de  $26,3 \pm 0,1$  de IB, valor superior a todos los chocolates con emulsificantes estudiados en un tiempo de 11-11,5 semanas y menor a 30 de índice de blancura (Lonchampt y Hartel, 2006), otro estudio de chocolate oscuro desarrolló una eflorescencia grasa en cámara acelerada a las 11 semanas (Chire y Cordova, 2005). A nivel visual estas diferencias de color blanco superficial fueron casi imperceptibles al ojo humano, por lo que se recurrió al uso del colorímetro. También se puede apreciar que algunos emulsificantes resultaron con valores similares de índice de blancura, tal es el caso de 0,3% PGPR 1 y 0,3% PGPR 2 con valores de IB de  $25,3 \pm 0,0$  y  $25,0 \pm 0,0$  en un tiempo de 10,1 a 10,4 semanas (Figura 6b).

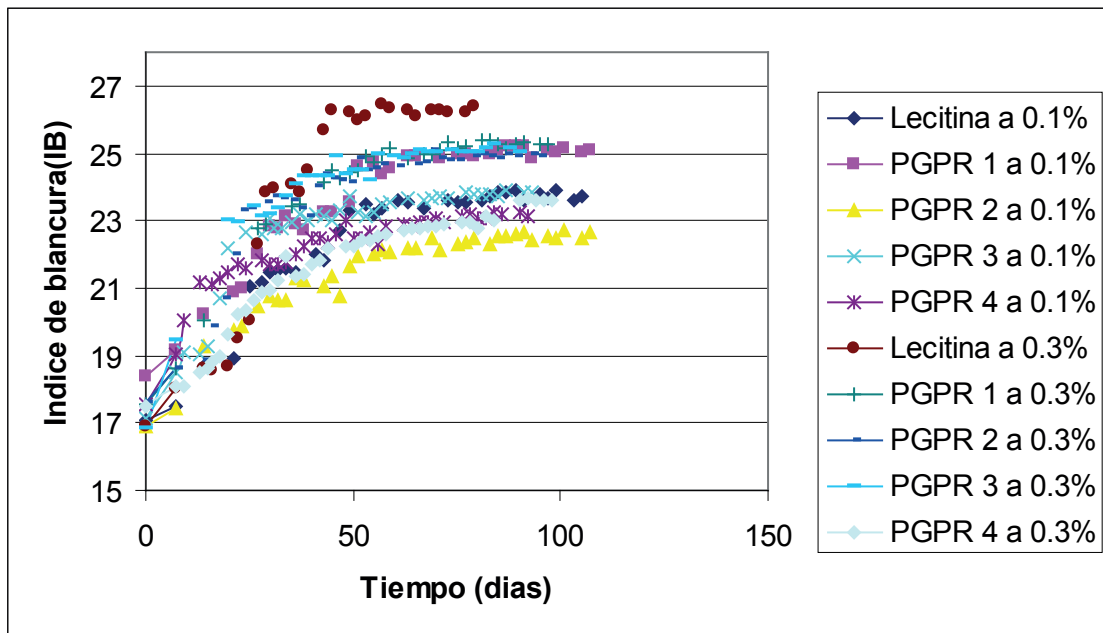


Figura 6. Cambios del índice de blancura durante la eflorescencia grasa en chocolate oscuro a diferentes dosis de emulsificantes en condiciones aceleradas

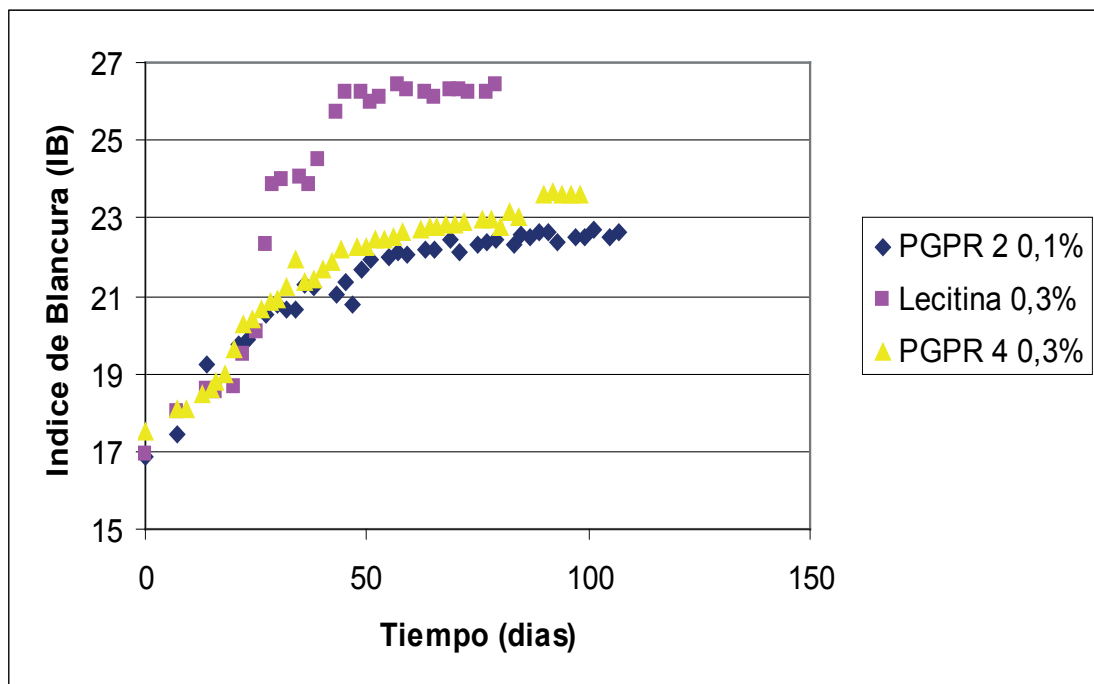
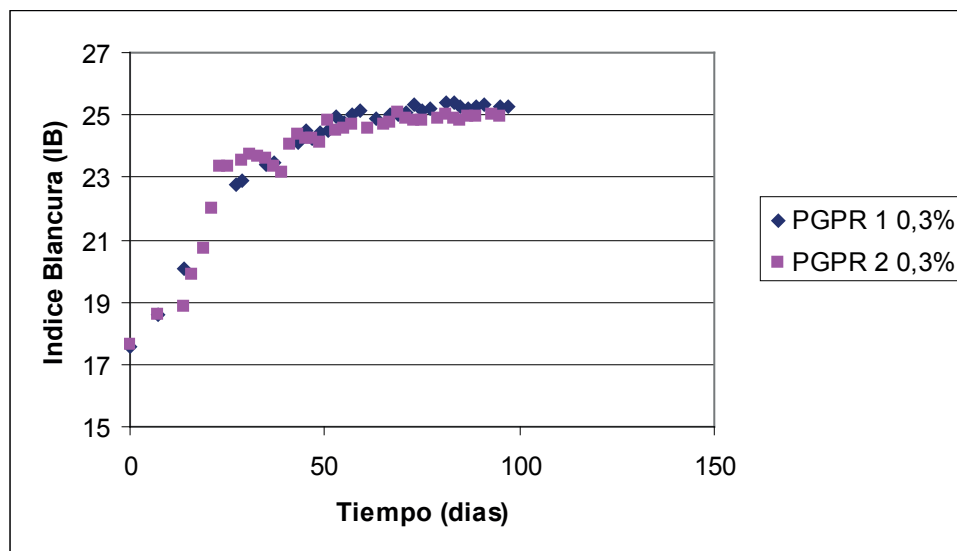


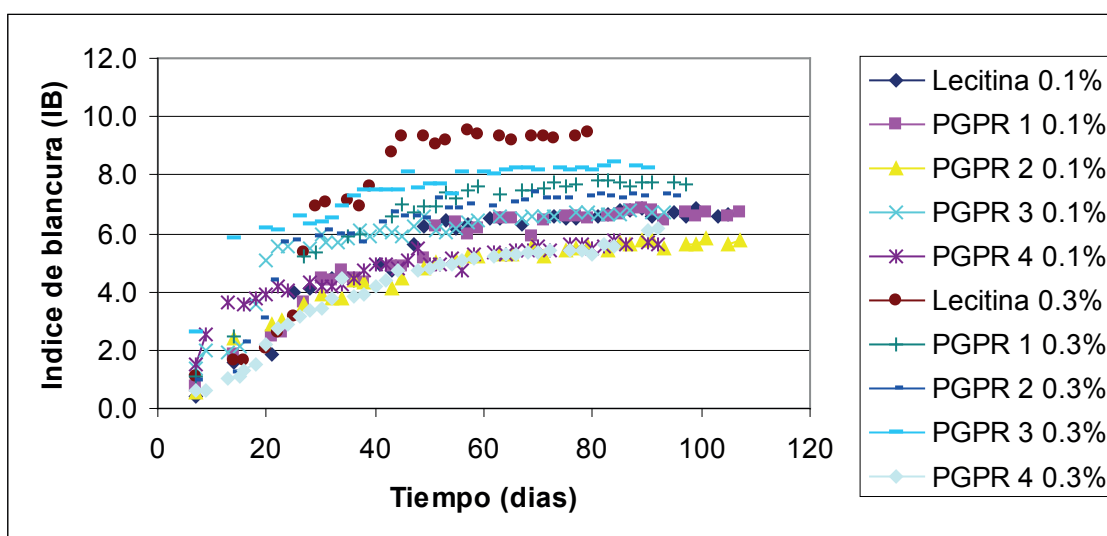
Figura 6<sup>a</sup>. Cambios del índice de blancura durante la eflorescencia grasa en chocolate oscuro para 0,1% PGPR 2; 0,3% lecitina de soya y 0,3% PGPR 4 en condiciones aceleradas



**Figura 6b.** Cambios del índice de blancura durante la eflorescencia grasa en chocolate oscuro para 0,3% PGPR 1 y 0,3% PGPR 2 en condiciones aceleradas

La Figura 7 muestra las diferencias de IB en tiempo, esto se explica que en el día cero (0) existe un valor numérico de IB y lo que se busca es conocer cuanto es la diferencia o el incremento de la blancura con respecto al día de la evaluación. Como ya se apreciaba en la Figura 6a, el chocolate oscuro con 0,1% de PGPR 2 fue el que más retardo la aparición de la eflorescencia grasa en el chocolate, teniendo un efecto positivo con respecto a la apariencia superficial del producto, notándose en esta figura como la curva mas baja pero acompañada con las de 0,3% PGPR 4 y 0,1% PGPR 4 (Figura 6), esto se interpreta que las diferencias en el tiempo de evaluación en 0,1% PGPR 2; 0,3% PGPR 4 y 0,1% PGPR 4 fueron las mismas, ellas difieren con un valor de  $5,7 \pm 0,1$ ;  $5,7 \pm 0,0$  y  $6,2 \pm 0,0$  en índice de blancura con respecto al día inicial de evaluación respectivamente (Figura 7<sup>a</sup>). Sin

embargo el uso de 0,3% de lecitina de soya estándar en el chocolate oscuro hizo que exista una diferencia mayor con respecto al día cero (0), esta diferencia está cuantificada en  $9,4 \pm 0,1$  IB (Figura 7a). La lecitina de soya estándar es el emulsificante más usado en las compañías de procesamiento de chocolates y de acuerdo al resultado de esta investigación, es el emulsificante que menos retardo la aparición de la eflorescencia grasa teniendo un efecto poco positivo con respecto a la apariencia superficial del producto, con estas interpretaciones se confirmaron los resultados que se muestran en la Figura 6. También se puede observar (Figura 7<sup>a</sup>) que entre los emulsificantes seleccionados: 0.1% PGPR 2; 0.1% PGPR 4 y 0.3% PGPR 4, son los que aportaron menos valores de índice de blancura en el tiempo de almacenamiento y difieren del controlador (lecitina de soya).



**Figura 7.** Diferencias del índice de blancura durante la eflorescencia grasa en chocolate oscuro a diferentes dosis de emulsificantes en condiciones aceleradas



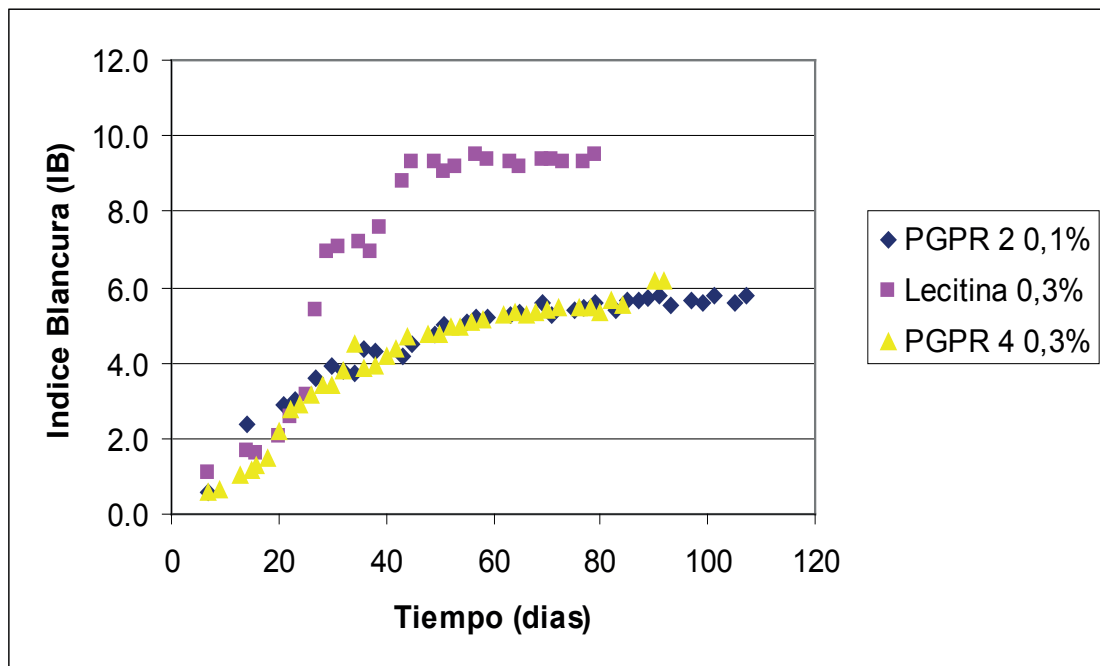


Figura 7ª. Diferencias del índice de blancura durante la efluorescencia grasa en chocolate oscuro para 0,1% PGPR 2; 0,3% Lecitina de Soya y 0,3% PGPR 4 en condiciones aceleradas

Brillo (UB). Las evaluaciones se realizaron desde el día 0 hasta un tiempo de 75 días, cuando los valores de esta variable se mantuvieron constantes. Las Figuras 8

y 9 muestran la pérdida del brillo y sus diferencias con respecto al día inicial de la evaluación en el chocolate oscuro usando los emulsificantes en sus respectivas dosis.

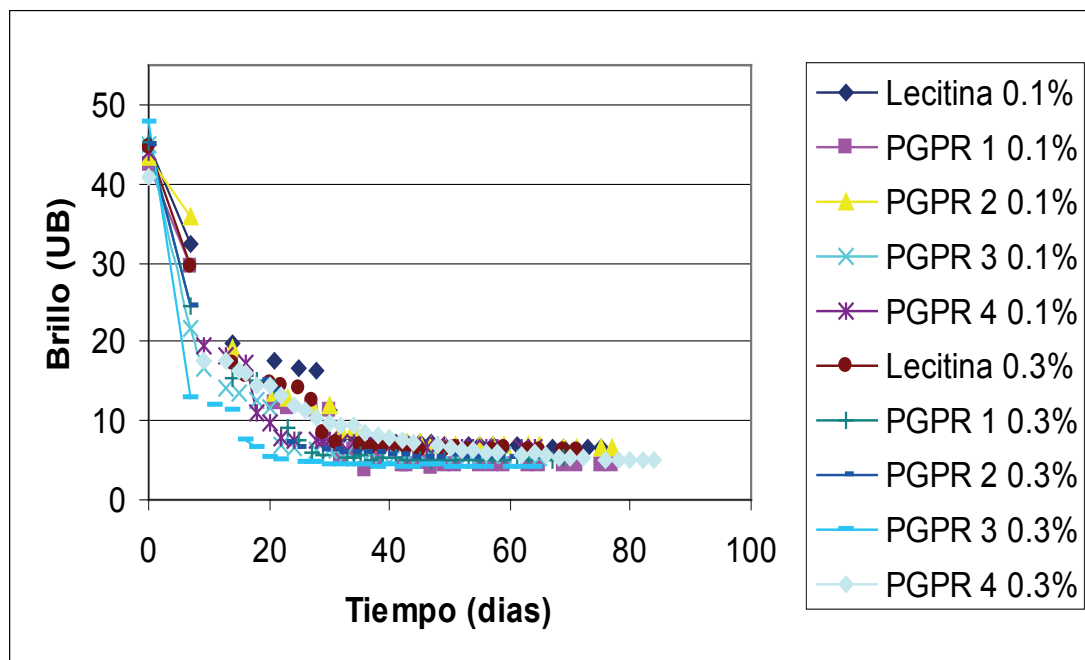
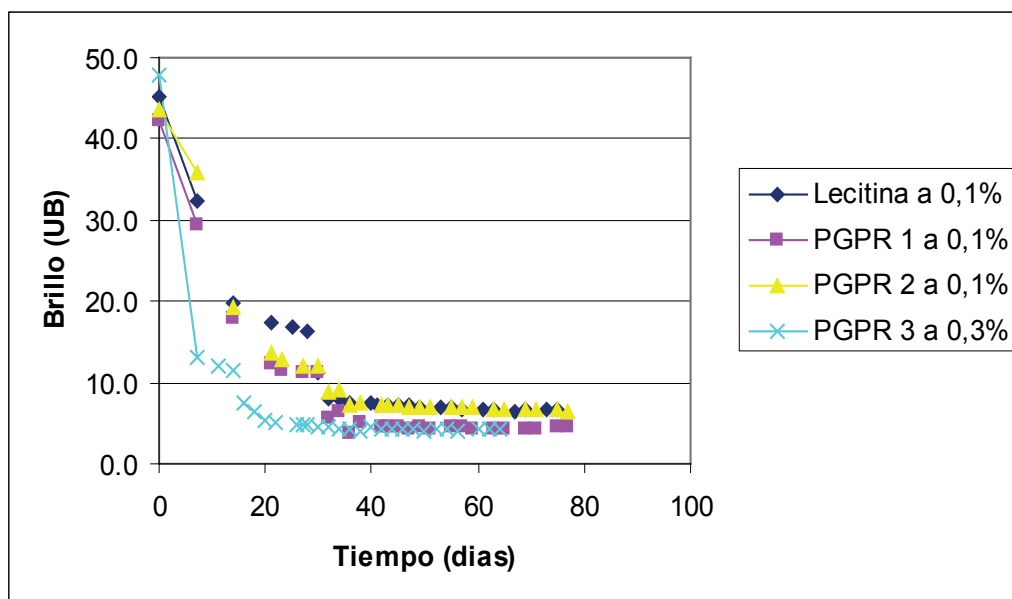


Figura 8. Cambio del brillo superficial durante la efluorescencia grasa en chocolate oscuro a diferentes dosis de emulsificantes en condiciones aceleradas

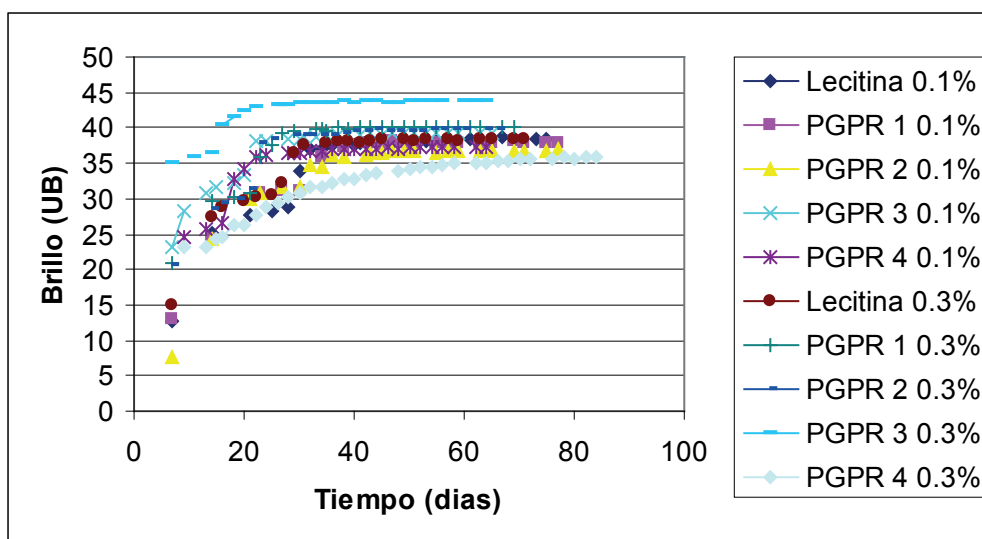


**Figura 8<sup>a</sup>.** Cambio del brillo superficial durante la eflorescencia grasa en chocolate oscuro a dosis de 0,1% de lecitina de soya; 0,1% PGPR 1, 0,1% PGPR 2 y 0,3% PGPR 3 en condiciones aceleradas

En la Figura 8 se observa que a medida que transcurre el tiempo, existe una pérdida de brillo drástica, con valores iniciales de  $44,3 \pm 1,9$  UB hasta valores finales de  $5,6 \pm 0,9$  UB, sabiendo por investigaciones anteriores que valores de brillo menores a 10 UB (ángulo 60) son considerados un bajo brillo en la superficie (Briones *et. al.*, 2006). Los cambios bruscos de temperatura que sufrió el chocolate en la cámara hizo posible la recrystalización de la grasa y por lo tanto la pérdida de brillo superficial, así como un chocolate no atemperado (Afoakwa *et al.*, 2009) que pierde brillo en las primeras 96 horas seguido de un decrecimiento gradual hasta alcanzar niveles asintóticos. También se notó que los emulsificantes 0,1% Lecitina, 0,1% PGPR 1 y 0,1% PGPR 2 fueron los que demoraron 31-32 días aproximadamente para tener un valor menor

a 10 UB, mientras que el producto con 0,3% PGPR 3 llegó rápidamente a un valor menor a 10 UB al día 15-16 (Figura 8<sup>a</sup>). Otros estudios (Chire y Cordova 2005) reportan pérdidas de brillo en cámaras aceleradas entre 9 a 10 semanas.

Se aprecia una diferencia significativa entre el uso de 0,3% de PGPR 3 y 0,1% de PGPR 2, siendo este último el que inicialmente perdió menos brillo en el tiempo (Figura 9). También se observó que, el que más brillo perdió fue el chocolate con 0,3% de PGPR 3 llegando al séptimo día con valores de  $13 \pm 0,0$  UB (Figura 8) y entre los que menos brillo perdieron se encuentran: 0,1% de PGPR 2; 0,1% y 0,3% de lecitina así como 0,1% de PGPR 1; en todos los casos con valores de 35,8; 32,3; 29,6 y 29,4 UB respectivamente al séptimo día de evaluación.



**Figura 9.** Diferencias del brillo superficial durante la eflorescencia grasa en chocolate oscuro a diferentes dosis de emulsificantes en condiciones aceleradas

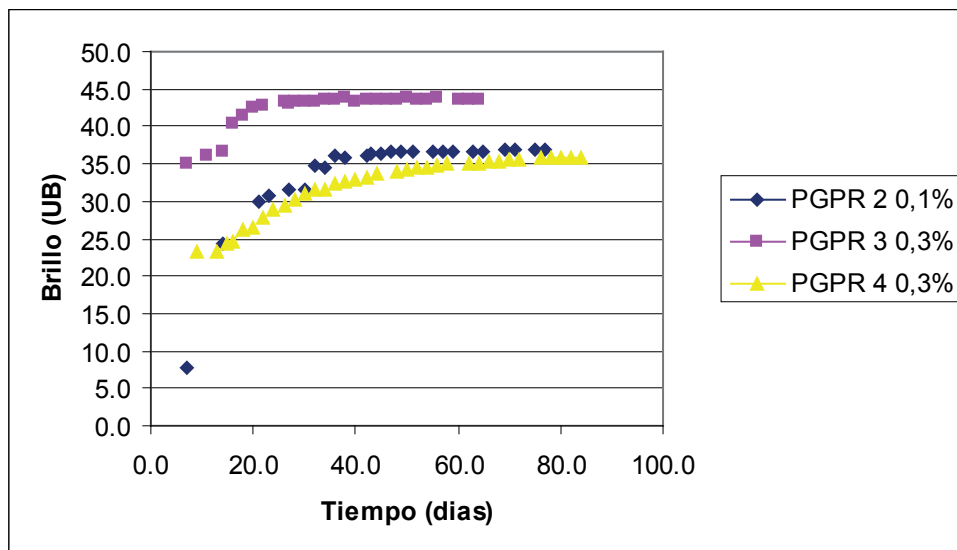


Figura 9ª. Diferencias del brillo superficial durante la eflorescencia grasa en chocolate oscuro para 0,1% PGPR 2; 0,3% PGPR 3 y 0,3% PGPR 4 en condiciones aceleradas

La Figura 9 muestra las diferencias de las pérdidas de brillo con respecto al día inicial de la evaluación, notándose claramente que la mayor diferencia se encuentra en 0,3% de PGPR 3 llegando a valores de  $43,7 \pm 0,0$  UB y la menor diferencia se encontró con el uso de 0,3% de PGPR 4, seguido de 0,1% de PGPR 2 con valores de 35,8 a 37,0 UB respectivamente. Esta figura nos confirma el efecto en el chocolate conteniendo 0,3% PGPR 3 como aquel emulsificante que perdió brillo rápidamente y como aquel que difiere más con sus características iniciales de evaluación (Figura 9ª).

#### 4. Conclusiones

El efecto de los diferentes emulsificantes en el chocolate oscuro, muestran que la lecitina de soya estándar puede ser sustituida por emulsificantes alternativos como el polirricinoleato de poliglicerol (0,3% PGPR 1 y 0,3% PGPR 4), los que favorece el proceso productivo, especialmente en la etapa de moldeo y bañado al tener resultados bajos en el valor mínimo de Casson (2,25 y 2,85 Pa), a su vez contribuye a la prevención de la eflorescencia grasa en el chocolate ya que se reporta un menor índice de blancura (IB) (0,1% PGPR 2; 0,1% PGPR 4 y 0,3% PGPR 4) y una menor pérdida del Brillo (UB) (0,1% PGPR 1 y 0,1% PGPR 2) en el tiempo de almacenamiento. Sin embargo existen otros emulsificantes que tienen menor efecto por lo que es necesario estudiarlos antes de usarlos en producción.

Los fabricantes de chocolates deben tomar en cuenta que los emulsificantes contribuyen a la apariencia superficial del producto que pueden medirse por el índice de blancura y brillo. El incremento del índice de blancura y la pérdida del brillo, se relacionan con el deterioro del chocolate oscuro.

El almacenamiento del chocolate oscuro a condiciones aceleradas para las variables incremento del índice de

blancura y pérdida del brillo, tuvo un comportamiento inicialmente leve, luego rápido y finalmente lento. Esto se debe principalmente a que el chocolate fue sometido a una fusión y luego se re-solidificó parcialmente, haciendo que la cristalización no fuera controlada, ocasionando la eflorescencia grasa del chocolate rápidamente. La eflorescencia grasa del chocolate no solo depende de factores como tamaño de partícula y contenido de grasa sino también de variables como: tipo de emulsificantes y dosis en que se adicionen al chocolate.

#### 5. Recomendaciones

Por la complejidad de la composición del chocolate, se recomienda lo siguiente:

Realizar evaluaciones a diferentes dosis de emulsificantes, así como con otros tipos de chocolates como: chocolate leche, chocolate para taza, chocolate blanco y coberturas sustitutas de chocolate.

Realizar estudios del efecto en una mezcla de emulsificantes, ya que puede dar resultados que favorecen los atributos del chocolate en el almacenamiento.

Realizar estudios con materias primas (manteca de cacao, pasta de cacao) procedentes del Perú.

#### 6. Agradecimiento

Este estudio se realizó en los laboratorios de Departamento de Ciencia de Alimentos de la Universidad de Wisconsin Madison, USA., agradeciendo muy especialmente al Dr. Richard W. Hartel por la oportunidad de realizar el presente trabajo.

#### 7. Literatura citada

Afoakwa, E., Paterson, A., Fowler, M. and Vieira J. 2009. Fat bloom development and structure-appearance relationships during storage of under-tempered dark chocolates. *Journal of Food Engineering* 91:571-581.

- Afoakwa, E., Paterson, A., Fowler, M. and Vieira, J. 2008.** Modelling tempering behaviour of dark chocolates from varying particle size distribution and fat content using response surface methodology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9: 527-533.
- ASTM, 1995.** Standard test method for specular gloss. Designation D523. In 1995 Annual book of ASTM standards. Volume 6.01: Paint-tests for chemical, physical and optical properties; appearance; durability of non-methallic materials. Philadelphia: American Society for testing and materials.
- Beckett, S. T. 2008.** The Science of Chocolate. The Royal Society of Chemistry (Eds.). Cambridge, England.
- Beckett, S. T. 2009.** Industrial Chocolate Manufacture and Use. 4th edition. Wiley-Blackwell (Eds.). New York. United Kingdom.
- Beckett, S. T. 1994.** Fabricación y utilización industrial del chocolate. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza.
- Briones, V., Aguilera, J. M. and Brown, C, 2006.** Effect of surface topography on color and gloss of chocolate simples. *Journal of Food Engineering* 77: 776-783.
- Chire, G. y Cordova, A. 2005.** Mejoramiento de Chocolate Amargo para Taza mediante el uso de Licor de Cacao. *Ciencia e Investigación* 8 (2): 87-91.
- Chire, G. y Hartel, R. 2010.** Efectos de diferentes emulsificantes en el atemperado en chocolate oscuro. *Ciencia e Investigación* 13(1): 14-18.
- De Bruijne, DW. y Bot, A. 2001.** Alimentos elaborados basados en grasa. En: Rosenthal A. (Eds.). *Textura de los alimentos, medida y percepción.* (pp. 189-200). Acribia S.A. (Eds.). Zaragoza, España.
- Gaonkar, A. and Mcpherson, A. 2006.** INGREDIENT INTERACTIONS Effect on Food Quality. Second Edition. Taylor & Francis Group.
- Hasenhuetti, G. and Hartel, R. 1997.** Food emulsifiers and their applications. Chapman and Hall. New York.
- Lohman, M. and Hartel, W. 1994.** Effect of milk fat fractions on fat in dark chocolate. *Journal American Oil Chemist's Society* 71(3):267-275.
- Lonchamp, P. and Hartel, R. 2004.** Fat bloom in chocolate and compound coatings. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 106:241-274.
- Lonchamp, P. and Hartel R. 2006.** Surface bloom on improperly tempered chocolate. *European Journal of Lipid Science and Technology.* 108(2):159-168.
- Manning, DM., and Dimick, PS. 1985.** Crystal morphology of cocoa butter. *Food microstructure* 4:249-265.
- Minifie, B. 1999.** Chocolate, cocoa, and confectionery: Science and Technology. Third edition. Aspen Publishers, Inc. (Eds.). Maryland.
- Miquel, M., Carli, S., Couzens, PJ., Wille, HJ. and Hall, LD. 2001.** Kinetics of the migration of lipids in composite chocolate measured by magnetic resonance imaging. *Food Research International* 34 (2001): 773-781
- Richter, M. e Caetano Da Silva Lannes S. 2007.** Ingredientes udados na Industria de Chocolates. *Brazilian Journal of Pharnaceutical Sciences* 43 (3): 357-369.
- Schantz, B., Linke, L. and Rohm, H. 2003.** Effect of different emulsifiers on rheological and physical properties of chocolate. International symposium of food rheology and structure (3<sup>rd</sup>). EURORHEO Swiss, Proceedings, Zurich, 329-333.
- Schantz, B. and Rohm, H. 2005.** Influence of lecithin-PGPR blends on the rheological properties of chocolate. *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 38:41-45.