

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto
concentrado de yacón y de la adición de lecitina de soya en el
color, viscosidad, firmeza y aceptabilidad general en una
cobertura de chocolate**

TESIS para obtener el título profesional de:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

SUSAN JELYTZA VINCES GORDILLO

TRUJILLO, PERÚ

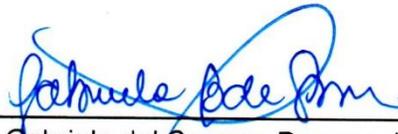
2019

La presente tesis ha sido aprobada por el siguiente Jurado:



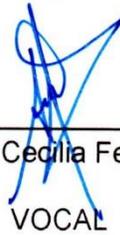
Ing. Dr. Antonio Ricardo Rodríguez Zevallos

PRESIDENTE



Ing. Ms. Gabriela del Carmen Barraza Jáuregui

SECRETARIO



Ing. Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna

VOCAL



Ing. Dr. Carlos Eduardo Lescano Anadón

ASESOR



Ing. Mg. Gabriela Cristina Chire Fajardo

COASESORA

DEDICATORIA

A Dios por ser siempre mi guía y demostrarme su amor en cada parte de mi vida.

*A mis padres **Jeny y Carlos**, por estar siempre presentes en cada etapa de mi vida expresándome su gran amor. Por encaminarme y formarme en la persona que soy y seré. Muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.*

*Y a mi hermana **Brigitte** por apoyarme en todo momento, siendo mi mejor amiga. Siempre encontrarás en mí, amor y apoyo.*

AGRADECIMIENTO

Al **Dr. Carlos Lescano Anadón** mi asesor, por ser una persona admirable siendo mi guía en el desarrollo de la tesis. Por inculcarme sus enseñanzas, y compartir sus ideas y conocimientos.

A la **Mg. Gabriela Chire Fajardo** coasesora de la tesis, por sus conocimientos especializados y orientación en la elaboración de las coberturas de chocolate en Lima.

Al **Dr. José Gonzales Cabeza** y al **Ing. Heraldo de la Cruz** del Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria (LABINM) de la UPAO.

ÍNDICE GENERAL

Página

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN POR EL JURADO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	4
2.1. Yacón.....	4
2.2. Chocolate y cobertura de chocolate.....	6
2.2.1. Chocolate.....	6
2.2.2. Cobertura de chocolate.....	8
2.3. Reología del chocolate	8
2.3.1. Reogramas y modelos reológicos del chocolate.....	10
2.3.2. Factores que afectan las propiedades de fluencia del chocolate	13
2.4. Manteca de cacao y sustituyentes	14
2.4.1. Manteca de cacao.....	14
2.4.2. Sustituyentes de la manteca de cacao	15

	Página
2.5. Lecitinas.....	17
2.6. Aceptabilidad general	19
2.6.1. Diseño de bloques incompletos	19
2.6.2. Diseños por bloques incompletos parcialmente balanceados	19
2.6.3. Prueba de Skillings-Mack	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. Lugar de ejecución.....	24
3.2. Materiales y equipos	24
3.2.1. Insumos	24
3.2.2. Equipos.....	25
3.2.3. Materiales	25
3.3. Esquema experimental de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya en una cobertura de chocolate.....	26
3.4. Método experimental.....	28
3.4.1. Procedimiento experimental para la obtención del extracto concentrado de yacón	28
3.4.2. Procedimiento experimental para la elaboración de la cobertura de chocolate	31
3.4.3. Tratamientos.....	35
3.4.4. Formulaciones de coberturas de chocolate	36
3.5. Métodos de análisis	37
3.5.1. Color	37
3.5.2. Viscosidad plástica de Casson y esfuerzo mínimo de fluencia de Casson	38

	Página
3.5.3. Firmeza.....	39
3.5.4. Aceptabilidad general	39
3.6. Método estadístico.....	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya sobre el color en las coberturas de chocolate.....	43
4.2. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya sobre la viscosidad plástica en coberturas de chocolate.	52
4.3. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya sobre el esfuerzo mínimo de fluencia en coberturas de chocolate	59
4.4. Efecto de la sustitución de manteca de cacao por extracto de yacón y lecitina sobre la firmeza en coberturas de chocolate	66
4.5. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya sobre la aceptabilidad general en coberturas de chocolate	74
V. CONCLUSIONES	78
VI. RECOMENDACIONES.....	79

	Página
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	80
VIII. ANEXOS	88

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1.	Requisitos de composición de chocolate y de la cobertura de chocolate	7
Cuadro 2.	Codificación de los tratamientos para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	36
Cuadro 3.	Formulaciones de las coberturas de chocolate	36
Cuadro 4.	Prueba de Levene sobre el color en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	47
Cuadro 5.	Análisis de varianza para el color L^* , a^* y b^* en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	48
Cuadro 6.	Prueba de Duncan para L^* en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina	48
Cuadro 7.	Prueba de Duncan para a^* en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina	50
Cuadro 8.	Prueba de Duncan para b^* en cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina	51
Cuadro 9.	Prueba de Levene para la viscosidad plástica en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	56
Cuadro 10.	Análisis de varianza para la viscosidad plástica en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	57
Cuadro 11.	Prueba de Duncan para la viscosidad plástica en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	58

Cuadro 12.	Prueba de Levene para el esfuerzo mínimo de fluencia en coberturas de chocolate en extracto de yacón y lecitina.....	63
Cuadro 13.	Análisis de varianza para el esfuerzo mínimo de fluencia en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	64
Cuadro 14.	Prueba de Duncan para el esfuerzo mínimo de fluencia en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	65
Cuadro 15.	Prueba de Levene para la firmeza en las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	70
Cuadro 16.	Análisis de varianza para la firmeza-2 mm en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	71
Cuadro 17.	Análisis de varianza para la firmeza-4 mm en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	71
Cuadro 18.	Prueba de Duncan para la firmeza-2 mm en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	72
Cuadro 19.	Prueba de Duncan para la firmeza-4 mm en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	73
Cuadro 20.	Prueba de Skillings – Mack para la aceptabilidad general de las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema experimental para la investigación sobre cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	27
Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención del extracto concentrado de yacón.....	29
Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de la cobertura de chocolate.	32
Figura 4. Tarjeta de evaluación de aceptabilidad general para las muestras de cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina.	41
Figura 5. Valores de L* para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	44
Figura 6. Valores de a* para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	45
Figura 7. Valores de b* para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	46
Figura 8. Viscosidad plástica para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	53
Figura 9. Esfuerzos mínimos de fluencia en las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	60
Figura 10. Firmeza-2 mm en las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	67
Figura 11. Firmeza-4 mm en las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	68
Figura 12. Aceptabilidad general para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 1.	Valores experimentales del color L^* , a^* y b^* en la cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	88
Anexo 2.	Valores experimentales de esfuerzo de corte (τ) Pa y viscosidad aparente (η) Pa. s a diferentes velocidades de corte ($\dot{\gamma}$) s^{-1}	89
Anexo 3.	Viscosidad plástica de Casson y Esfuerzo mínimo de fluencia.	90
Anexo 4.	Graficas de Viscosidad aparente y Viscosidad plástica.....	91
Anexo 5.	Ejemplo de cálculo de viscosidad plástica de Casson y esfuerzo mínimo de Casson	96
Anexo 6.	Valores experimentales de la firmeza en la cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	97
Anexo 7.	Valores de la Aceptabilidad general (Prueba de Skillings – Mack) en la cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina.....	98

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto de tres sustituciones parciales de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (5, 7 y 9%) y de la adición de tres concentraciones de lecitina de soya (0.10, 0.25 y 0.50%) sobre el color (L^* , a^* y b^*), viscosidad plástica (η_{CA}) y esfuerzo mínimo de fluencia (τ_{OCA}), firmeza y aceptabilidad general en tabletas de coberturas de chocolate. El análisis de varianza demostró efecto significativo ($p < 0.05$) de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón en L^* , a^* , viscosidad plástica, esfuerzo mínimo de fluencia, firmeza-2mm y firmeza-4mm. La adición de lecitina de soya presentó efecto significativo sobre L^* , a^* , b^* , esfuerzo mínimo de fluencia y firmeza-2mm. La prueba de Skillings - Mack indicó que las muestras de cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina de soya, no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellas con referencia a la aceptabilidad general. La cobertura de chocolate con 9% de sustitución de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y con 0.25% de adición de lecitina de soya presentó los valores más adecuados de L^* (24.58), a^* (10.51), b^* (8.55), viscosidad plástica (0.98 Pa.s), esfuerzo mínimo de fluencia (15.16 Pa), firmeza-2mm (39.74 N), firmeza-4mm (40.33 N) y de aceptabilidad general con el mayor promedio (7.81) y moda de 8 ("Me gusta mucho"). La prueba de Duncan también mostró que el tratamiento con 5% de extracto concentrado de yacón con 0.50% lecitina de soya presentó los menores valores de viscosidad plástica de Casson (η_{CA}) y de esfuerzo mínimo de fluencia (τ_{OCA}), y el promedio más bajo (6.71) con moda de 7 ("Me gusta") en la prueba de la aceptabilidad general.

ABSTRACT

In this investigation, the effect of three partial substitutions of cocoa butter by concentrated yacon extract (5, 7 and 9%) and of the addition of three concentrations of soy lecithin (0.10, 0.25 and 0.50%) on the color (L^* , a^* , b^*), plastic viscosity (η_{CA}), minimum yield stress (τ_{oCA}), firmness and general acceptability in chocolate coating tablets was evaluated. The ANOVA showed a significant effect ($p < 0.05$) of the partial substitution of cocoa butter with concentrated yacon extract in L^* , a^* , plastic viscosity, minimum yield stress, firmness-2mm and firmness-4mm and the addition of soy lecithin showed significant effect on L^* , a^* , b^* , minimum yield strength and firmness-2mm. The Skillings - Mack test indicated that samples of chocolate coatings with yacon extract and soy lecithin did not show significant differences ($p > 0.05$) among them with reference to general acceptability. Chocolate coating tablets with 9% cocoa butter substitution by concentrated yacon extract and with 0.25% of soy lecithin addition presented the most adequate values of L^* (24.58), a^* (10.51), b^* (8.55), plastic viscosity (0.98 Pa.s), minimum yield stress (15.16 Pa), firmness-2mm (39.74 N), firmness-4mm (40.33 N) and general acceptability with the highest average (7.81) and mode of 8 ("I like it much"). Duncan's test also showed that treatment with 5% concentrated yacon extract with 0.50% soy lecithin had the lowest Casson plastic viscosity values (η_{CA}) and minimum yield stress (τ_{oCA}), and the lowest average (6.71) with mode of 7 ("I like it") in the sensory evaluation test of general acceptability.

I. INTRODUCCIÓN

El chocolate es consumido en el mundo por personas de todas las edades y de todos los segmentos de la sociedad. La popularidad de este alimento se asocia principalmente con su potencial para despertar el placer sensorial y emociones positivas. Al mismo tiempo, la población muestra una clara preferencia por una alimentación saludable. El aumento de las enfermedades cardiovasculares, la obesidad y otras enfermedades relacionadas con la dieta, ha generado en los consumidores un mayor interés en los ingredientes de los productos alimenticios y la valoración de los alimentos funcionales. Ante esta realidad, los productores de chocolate tienen que elegir nuevos ingredientes para su producto; por ejemplo, para reducir el contenido de manteca de cacao de alto costo y energía, utilizan sustitutos apropiados. Las fibras solubles e insolubles, prebióticos, grasas, vitaminas, minerales, extractos de vegetales y otros fitoquímicos, son los principales ingredientes que se utilizan como sustitutos o agentes de enriquecimiento del chocolate (Konar y otros, 2016).

La fibra dietética se ha empleado como reemplazo de sacarosa y grasa en los chocolates. Los fructooligosacáridos tienen un efecto prebiótico porque son fermentados por bífidobacterias en el colon; esta fibra dietética puede sustituir grasas y azúcares, sin afectar la textura de los alimentos, logrando productos con una composición nutricional más equilibrada (Rezende y otros, 2015).

Las raíces del yacón contienen inulina, un polisacárido estimulante de la producción de insulina por el páncreas, cuya ingesta contribuye a reducir los niveles de glucosa en la sangre. Es por ello que, parte de la energía calorífica se obtiene de otras fuentes, como las proteínas y grasas, lo que ayuda a reducir los niveles del colesterol y triglicéridos del organismo humano. Por ello

el yacón presenta beneficios potenciales tanto para los diabéticos, como para aquellos que desean disminuir de peso, y ofrece múltiples propiedades para cuidar la salud del colon (SIICEX, 2012).

El yacón y el chocolate son reconocidos como alimentos funcionales, con los que se pueden elaborar productos con un contenido en fructanos y antioxidantes que resultan atractivos a los consumidores, por los efectos positivos sobre la salud y por sus características organolépticas agradables. La adición de yacón en productos de chocolatería fina con alto contenido de cacao permite la posibilidad de generar productos alimenticios con una gran aceptación, calidad y un alto contenido nutricional (Arango y otros, 2016).

La lecitina de soya es un emulsionante versátil que se utiliza en diversas aplicaciones industriales; es usada en chocolates, por sus efectos en la reología (Chire y Hartel, 2011).

Es por lo expuesto, que la presente investigación se orienta a reducir el contenido de manteca de cacao de las coberturas de chocolate, reemplazándola parcialmente por extracto concentrado de yacón, como sustituto benéfico para la salud, y con la adición de lecitina de soya, para mantener las características de calidad.

El problema planteado en esta investigación fue:

¿Cuál será el efecto de tres sustituciones parciales de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (5, 7 y 9%) y de la adición de tres concentraciones de lecitina de soya (0.10, 0.25 y 0.50%) sobre el color, la viscosidad plástica, el esfuerzo mínimo de fluencia, la firmeza y la aceptabilidad general en una cobertura de chocolate?

Los objetivos fueron:

Evaluar el efecto de tres sustituciones parciales de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (5, 7 y 9%) y de la adición de tres concentraciones de lecitina de soya (0.10, 0.25 y 0.50%) sobre el color, la viscosidad plástica, el esfuerzo mínimo de fluencia, la firmeza y la aceptabilidad general en una cobertura de chocolate.

Determinar la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya que permita obtener adecuados valores de color, viscosidad plástica, esfuerzo mínimo de fluencia, firmeza y la mayor aceptabilidad general en una cobertura de chocolate.

II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

2.1. Yacón

El yacón es conocido botánicamente como *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. “yacón” (Asteraceae). El género *Smallanthus* pertenece a la familia Asteraceae (Compuestas) y actualmente reúne 21 especies que antes eran incluidas en el género *Polymnia*. El género *Smallanthus sonchifolius* tiene su distribución restringida a América y su centro de diversidad se encuentra en Centroamérica y en los Andes (Leiva y otros, 2013). La mayor diversidad de germoplasma de yacón se encuentra principalmente en las laderas orientales de los Andes de Perú y Bolivia (Grau y Rea, 1997).

Smallanthus sonchifolius es una planta perenne de 1.5 – 3 m de altura, con tallo cilíndrico a angular, surcado, hueco en la madurez y densamente pubescente en la parte superior. El sistema radicular se compone de un sistema muy ramificado de raíces de absorción y de hasta 20 raíces carnosas y tuberosas de almacenaje. Estas raíces tuberosas, conocidas comúnmente como yacón, acumulan inulina (polifruktosa prebiótico) y tienen un sabor dulce (30 a 50% de la potencia edulcorante del azúcar), por su alto contenido de fructooligosacáridos (oligofruktosas u oligofruktanos) tipo inulina, abreviados como FOS. Las raíces de yacón son utilizadas como alimento humano; son mayoritariamente napiformes, pueden alcanzar hasta 25 cm de largo y 10 cm de grosor y pesan entre 0.2 – 2 kg. El color de la corteza de las raíces tuberosas y de su tejido de almacenaje varía, dependiendo del clon, entre blanco, crema, rosado (estriado), lila, y hasta marrón (Leiva y otros, 2013).

El yacón, por su contenido de inulina, aumenta la producción de insulina del páncreas, reduciendo así los niveles de azúcar en la sangre. Por lo que el gasto calórico también se obtiene de otras fuentes, como las proteínas y grasas, lo que ayuda a reducir los niveles del colesterol y triglicéridos del organismo humano (Madrigal y Sangronis, 2007). Por ello el yacón presenta beneficios potenciales para los diabéticos y para aquellos que desean perder peso, y ofrece múltiples propiedades para cuidar la salud del colon (SIICEX, 2012).

Los FOS pueden ser producidos por degradación de inulina (polifruktosa), un polímero de residuos de D-fructosa unidos por enlaces $\beta(2-1)$ con un enlace terminal $\alpha(1-2)$ a D-glucosa (Miguel, 2009; Campos y otros, 2012; Bedoya y otros, 2008). Los FOS constituyen cerca del 10% del peso fresco del yacón, lo que significa 70 – 80% del peso seco. Ellos se forman durante el período vegetativo a partir de azúcares simples y son enzimáticamente descompuestos de nuevo entre la cosecha y el rebrote. Algunos estudios muestran que después de la cosecha, durante el almacenamiento de las raíces del yacón, la concentración del FOS disminuye y la de los azúcares libres aumenta nuevamente (Leiva y otros, 2013).

Los FOS se diferencian de la inulina, solo por la longitud de la cadena (2 a 20). Se ha demostrado que tanto la inulina como los FOS resisten las enzimas digestivas humanas y se fermentan en el colon (García y otros, 2002). Los FOS contribuyen al equilibrio de la flora intestinal, por lo que su consumo está asociado a una alimentación equilibrada y hábitos de vida saludables. La mayoría de los efectos beneficiosos del consumo de yacón se han atribuido a su contenido de compuestos fenólicos, antioxidantes y prebióticos (Campos y otros, 2012).

2.1.1. Extracto concentrado de yacón

El proceso de concentración al vacío de alimentos líquidos emplea bajas temperaturas y tiempos cortos, por lo que se obtiene una buena retención de nutrientes. Al concentrar en un recinto hermético y sin aire, se minimizan las pérdidas de aromas volátiles; los productos presentan buen color y conservan las características organolépticas adecuadas, evitando, además, la alteración de las vitaminas. Mediante la concentración de extractos acuosos de yacón se podría minimizar el deterioro de sus principales componentes como los oligofruktanos y los del color (Rodríguez y Vásquez, 2009).

2.2. Chocolate y cobertura de chocolate

2.2.1. Chocolate

El chocolate es una dispersión, en una fase grasa continua, de partículas sólidas muy finas, las que incrementan la viscosidad de la mezcla líquida. Una reducción en la viscosidad del chocolate fundido 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 citados por Chire y Hartel, 2011; Flores y otros, 2017).

Según la norma CODEX STAN 87-1981. Rev.1 (2003), el chocolate (en algunas regiones también descrito como chocolate oscuro, chocolate amargo,

chocolate semidulce o “chocolat fondant”) debe contener no menos del 35% de extracto seco total de cacao, del cual el 18%, por lo menos, será manteca de cacao y el 14%, por lo menos, extracto seco magro de cacao.

Las categorías del chocolate se conocen como oscuro, con leche y blanco que se diferencian en el contenido de sólidos de cacao, grasa de leche y la manteca de cacao en la formulación. Los chocolates son suspensiones semisólidas con partículas sólidas finas de azúcar y cacao (y leche, dependiendo el tipo); haciendo alrededor del 70% en total, en una fase grasa continua (Afoakwa, 2010 citado por Konar y otros, 2016).

El Cuadro 1 presenta los requisitos de composición del chocolate y de la cobertura de chocolate.

Cuadro 1. Requisitos de composición de chocolate y de la cobertura de chocolate

Componentes	Chocolate (%)	Cobertura de chocolate (%)
Manteca de cacao	≥18	≥31
Extracto seco magro de cacao	≥14	≥2.5
Total de extracto seco de cacao	≥35	≥35
Materia grasa de la leche	NA	NA
Total de extracto seco magro de la leche	NA	NA

NA: No asignado

FUENTE: CODEX STAN 87-1981. Rev.1 (2003).

2.2.2. Cobertura de chocolate

Según la Norma del CODEX STAN 87-1981. Rev.1 (2003), la cobertura de chocolate debe contener no menos del 35% de extracto seco total de cacao, del cual no menos del 31% será manteca de cacao y el 2.5%, por lo menos, extracto seco magro de cacao.

El objetivo de las coberturas es lograr aplicaciones más versátiles del chocolate y extender la vida útil de los productos en los que se aplica. Por ejemplo, las coberturas de chocolate para productos tipo bizcocho, se usan para proteger a los rellenos del deterioro, previenen la deshidratación y el endurecimiento del caramelo. El principal impulso del uso de las coberturas fue por su habilidad para producir nuevas combinaciones de bizcochos a base de cereales y wafers con frutas y nueces; y sistemas a base de agua como caramelos, jaleas, fondants y grasas-base para cubrir bombones de chocolate. Este desarrollo brinda nuevas combinaciones de sabor y textura para satisfacer el apetito de nuevas sensaciones de los clientes (Talbot, 2009; citado por Flores, 2014).

2.3. Reología del chocolate

Se puede considerar a la viscosidad como una fricción interna opuesta al movimiento. Cuando el movimiento es sencillo (es decir, materiales completamente fluidos) hay muy poca fricción, pero para los materiales espesos la fricción es alta. La viscosidad está relacionada con la energía necesaria para mantener el chocolate en movimiento una vez que ya ha empezado a fluir. También es importante en la determinación del grosor de

una cobertura de chocolate en un bombón y para determinar la potencia de la bomba necesaria para movilizar el chocolate líquido (Beckett, 2002).

Los líquidos y los gases son fluidos, no se deforman elásticamente ya que fluyen cuando se someten a un esfuerzo de corte o cizallamiento; es decir, la sustancia no se puede sostener en equilibrio ante la acción de un esfuerzo cortante. En efecto, generalmente se necesita un esfuerzo de deformación para mantener un flujo constante de una capa de fluido con relación a otra y, la magnitud del esfuerzo está relacionada con la viscosidad del fluido (Alvarado y Aguilera, 2001).

El umbral de fluencia, o esfuerzo de corte mínimo, está relacionado con la energía necesaria para que empiece a fluir el chocolate. Si este valor es alto, el chocolate tenderá a no moverse, lo que puede ser necesario para decorar dulces o para la fabricación de trocitos de chocolate para su uso en galletas. Se requiere un bajo valor del umbral de fluencia para aplicar una cobertura de chocolate fluida sobre un bizcocho (Beckett, 2002).

Los tiempos que emplean las partículas sólidas del chocolate en alcanzar los diferentes receptores gustativos, dependen de la viscosidad. Esto significa que dos chocolates fabricados con idénticos ingredientes, pero que han sido procesados para obtener diferentes viscosidades, tendrán sabores diferentes. El tamaño de las partículas afecta también a la viscosidad, así como a la textura (Beckett, 2002).

2.3.1. Reogramas y modelos reológicos del chocolate

El chocolate fundido es una suspensión de partículas de azúcar, cacao y, si es el caso, de sólidos de leche en fase grasa continua. A causa de la presencia de partículas de sólidos en la masa fundida, esta exhibe propiedades no newtonianas. El chocolate es un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico (Beckett, 2002).

Para un fluido newtoniano, la viscosidad (η) es la relación constante entre el esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de corte (γ). En los fluidos no newtonianos, se utiliza el término viscosidad aparente para denominar a la relación τ/γ de la variación del esfuerzo de corte en función de la velocidad de corte (Beckett, 1994).

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \quad (1)$$

La representación gráfica o reograma de un fluido newtoniano es una línea recta que parte del origen de las coordenadas.

En el caso del chocolate, hay un valor mínimo de esfuerzo de corte τ_0 , pero en el reograma es una línea curva en vez de una recta. Entonces, cuando el esfuerzo de corte es superior al umbral, la estructura sólida se deshace y el producto es capaz de fluir. Al desaparecer el esfuerzo o ser menor que el valor umbral, la estructura se reconstituye (Beckett, 1994).

Entre los diferentes modelos propuestos para expresar la curvatura del reograma del chocolate, mediante una ecuación, el más aceptado es el modelo de Steiner quien en 1958 adaptó el modelo propuesto por Casson para la tinta de impresión. El modelo de Steiner para el chocolate fue adoptado por la OICC

(Office International du Cacao et du Chocolat, ahora ICCO International Cocoa Organization) en 1973, para evaluar el chocolate fundido en el rango de 5 a 60 s⁻¹. Desde el 2000, la International Office Cocoa, Chocolate and Sugar Confectionery – IOCCC, ahora International Confectionery Association – ICA recomendó el uso del modelo de Windhab.

Según el modelo de Casson, el comportamiento reológico del chocolate fundido se expresa mediante una línea recta, y con dos parámetros τ_{oCA} y η_{CA} :

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_{oCA}} + \sqrt{\eta_{CA}}\sqrt{\gamma} \quad (2)$$

Donde:

- τ : Esfuerzo cortante (Pa)
- γ : Velocidad de corte (s⁻¹)
- τ_{oCA} : Esfuerzo mínimo de fluencia de Casson (Pa)
- η_{CA} : Viscosidad plástica de Casson (Pa.s)

El esfuerzo mínimo de fluencia está relacionado con la energía necesaria para que comience a fluir el chocolate y la viscosidad plástica de Casson se relaciona con la energía necesaria para mantener el chocolate en movimiento, una vez que ya ha empezado a fluir, y con su espesor, cuando se mueve relativamente rápido (Beckett, 1994 citado por Flores, 2014).

Las características reológicas del chocolate se pueden determinar utilizando reómetros de rotación de geometría diversa. Para reómetros rotatorios de

cilindros concéntricos, Steiner (1958) y la OICC (1973), introdujeron: la relación, definida como:

$$a = r/R \quad (3)$$

Donde r es el radio del cilindro interior y R es el radio del cilindro exterior. El valor de a en los reómetros Brookfield para husillo 27 y el recipiente de muestra 13RP es 0.62.

El Modelo de Steiner utiliza esta constante a y los dos parámetros de Casson, para relacionar matemáticamente la velocidad de corte con el esfuerzo cortante:

$$(1 + a)\sqrt{\tau} = 2\sqrt{\tau_{oCA}} + \sqrt{\eta_{CA}}(1 + a)\sqrt{\dot{\gamma}} \quad (4)$$

Para evaluar las propiedades de fluencia con esta ecuación, se grafica $(1 + a)\sqrt{\tau}$ vs $(1 + a)\sqrt{\dot{\gamma}}$ para obtener una línea recta, la cual se extrapola a cero velocidad de corte. De la pendiente de la recta se obtiene el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson y de la pendiente, la viscosidad plástica de Casson.

El Modelo de Windhab se utiliza frecuentemente para describir el comportamiento reológico del chocolate líquido fundido. Este modelo relaciona el esfuerzo cortante y la velocidad de corte mediante la expresión:

$$\tau = \tau_o + \eta_{\infty} \dot{\gamma} + (\tau_1 - \tau_o)(1 - e^{-\dot{\gamma}/\dot{\gamma}^*}) \quad (5)$$

Donde los términos no citados antes son:

η_{∞} : Viscosidad de equilibrio, en Pa. s

τ_1 : Constante, en Pa

γ^* : Constante, en s^{-1}

La línea curva que describe el comportamiento reológico es muy parecida a la línea de un plástico Bingham, con la diferencia que antes de alcanzar el comportamiento de una línea recta a partir de τ_o tiene un sector de línea curva de pendiente decreciente (viscosidad disminuye), hasta que alcanza la viscosidad (pendiente) constante η_{∞} , característica de un plástico Bingham (línea recta). Si se extrapola esta línea recta, hasta el punto de intersección de cero velocidad de corte, alcanza en el eje vertical la ordenada τ_1 , que es el esfuerzo de corte mínimo hipotético o ficticio.

2.3.2. Factores que afectan las propiedades de fluencia del chocolate

Para el modelo de Casson, las propiedades de fluencia del chocolate fundido pueden describirse con dos parámetros, la viscosidad plástica de Casson η_{CA} y el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson τ_{oCA} ; este último valor es dependiente de las fuerzas de cohesión entre las partículas (Beckett, 1994).

Los parámetros de Casson para el chocolate oscilan entre:

$$\eta_{CA} = 1 \text{ a } 20 \text{ Pa.s}$$

$$\tau_{oCA} = 10 \text{ a } 200 \text{ Pa}$$

Las coberturas de chocolate, tienen valores correspondientes inferiores:

$$\eta_{CA} = 0.5 \text{ a } 2.5 \text{ Pa.s}$$

$$\tau_{oCA} = 0 \text{ a } 20 \text{ Pa}$$

Se ha demostrado que los parámetros de Casson (η_{CA} y τ_{oCA}) del chocolate fundido son afectados por el contenido graso, cantidad de emulsionante (por ejemplo lecitina) y, probablemente, el contenido de humedad; pero el tamaño de partículas, temperatura, tiempo de conchado, atemperado, tixotropía y vibraciones, tienen acción más importante sobre τ_{oCA} que sobre η_{CA} (Beckett, 1994).

2.4. Manteca de cacao y sustituyentes

2.4.1. Manteca de cacao

Se obtiene de las bayas de la planta tropical *Theobroma cacao* y es la grasa producida de una o más de las siguientes fuentes: granos de cacao, licor de cacao (masa de cacao) y torta de cacao, mediante procesos mecánicos y/o por solventes permitidos (Gil, 2010).

La manteca de cacao obtenida con solventes es la que se ha extraído de las semillas o de otros de sus productos, con solventes permitidos. La manteca de cacao, puede ser refinada por neutralización y desodorización con vapor, o por tratamiento con disolventes (Egan y otros, 1993).

2.4.2. Sustituyentes de la manteca de cacao

El cacao tiene fluctuaciones continuas de disponibilidad y de precio, lo que ha ocasionado el desarrollo de diversos sustitutos de su manteca para satisfacer la demanda en la fabricación de chocolates. Estos productos se usan en mezclas con la propia manteca de cacao, o pueden reemplazarla por completo. Para una total compatibilidad, las grasas sustitutas deben presentar curvas de punto de fusión de valores semejantes a las de la grasa de cacao, que está constituida fundamentalmente por triacil-glicéridos palmítico-oleico-palmítico, esteárico-oleico-palmítico y esteárico-oleico-esteárico; algunos sustitutos son derivados del coco y del palmiste hidrogenados, interesterificados y fraccionados, tienen un perfil más parecido al de la manteca de cacao, por lo que son compatibles al combinarse (Badui, 2006).

Los tipos de sustituyentes de la manteca de cacao son: equivalentes de manteca de cacao, sustitutos láuricos de manteca de cacao y sustitutos no láuricos de manteca de cacao.

Los equivalentes de manteca de cacao (Cocoa Butter Equivalent, o CBE, en inglés) que se han usado en productos chocolatados por muchos años; son grasas vegetales con propiedades químicas y físicas similares a la manteca de cacao (Sonwai y otros, 2012 citados por Flores, 2014).

Los sustitutos láuricos de manteca de cacao (CBR láuricos) como el aceite de nuez de palma y el aceite de coco, son ampliamente accesibles y contienen cerca de un 50% de ácido láurico (C12:0, ácido dodecanoico). Los sustitutos láuricos de la manteca de cacao solo pueden emplearse si hay muy poca manteca de cacao; los productos en los que se emplean CBR láuricos son

elaborados normalmente con cacao en polvo que, a su vez, tiende a darles un flavor diferente. Sin embargo, a menudo son utilizados para hacer coberturas, porque para muchos de los pequeños confiteros o para su uso en el hogar, es una gran ventaja no tener que atemperarlo. El enfriamiento puede ser muy rápido y a menudo el brillo de los productos inicialmente es muy intenso (Beckett, 2002).

Los sustitutos no láuricos de manteca de cacao (CBR no láuricos) como el aceite de palma y el de soya, contienen muchos de los ácidos grasos de la manteca de cacao y pueden ser fraccionados dejando básicamente los ácidos esteárico, palmítico y oleico. Sin embargo, estos se encuentran en posiciones dentro del glicerol más al azar que en la manteca de cacao, de modo que, por ejemplo, el ácido oleico esta con mucha frecuencia en las posiciones 1 o 3. Además, a menudo contienen una cantidad importante de ácido elaídico (C18:1, ácido octadec-trans-9-enoico). Las grasas no láuricas y las láuricas, tienden a cristalizar en forma β' y no necesitan atemperado, aunque sería mejor realizarlo si se encuentra presente una cantidad importante de manteca de cacao. También requieren de un enfriamiento mucho más lento que para los CBR láuricos (Beckett, 2002).

También existen las grasas de baja energía calorífica y los emuladores de grasa de hidratos de carbono y fibras.

Las grasas bajas de energía calorífica reducen la proporción de grasa y el aporte calórico. Sin embargo, para el procesado y por razones de textura, no es posible disminuir la cantidad de grasa muy por debajo del 25%. Esto no es suficiente para etiquetarlo como un producto bajo en calorías, tal como los que los fabricantes han obtenido con grasas que funden como la manteca de cacao, pero que tienen un aporte calórico más bajo. Al igual que las grasas

láuricas, son incompatibles con la manteca de cacao de modo que estos productos se tienen que fabricar con cacao en polvo (Beckett, 2002).

Los emuladores de materia grasa basados en hidratos de carbono y fibras, suelen tener la propiedad de captar agua y formar geles; por ello poseen un gran poder ligante y espesante, lo que confiere al producto una textura y sensación en la boca similar a la que proporciona la grasa (Giese, 1996). La mayoría de los emuladores de grasa no pueden ser utilizados en productos que posteriormente deben freírse, aunque pueden actuar formando una capa protectora para evitar la absorción de grasa durante el cocinado. Dentro de este grupo se han utilizado almidones modificados, maltodextrinas, hidrolizados de arroz, celulosa microcristalina, hidroximetilcelulosa, inulina y fibra dietética de distintos orígenes. Desde el punto de vista energético, estos sustitutos aportan entre 4186.8 y 16747.2 J/g. Quizás la más utilizada es la celulosa microcristalina, que es una sustancia GRAS y tiene la capacidad de formar coloides con características reológicas similares a las de la grasa (Cho y otros, 2005).

2.5. Lecitinas

Las lecitinas pertenecen al grupo de emulsionantes naturales iónicos. Son mezclas de fosfolípidos que se encuentran en las membranas biológicas de los organismos vivos. Estructuralmente se parecen a las grasas, pero poseen una parte formada por ácido fosfórico. Son hidrófilas (afines al agua) y poseen una gran cabeza polar y una pequeña cola no polar. Este lípido se introduce en su mayor parte en la fase acuosa y su cola se adhiere a la fase grasa. Los finales o terminales cargados eléctricamente, o polares, son positivos (+) o

negativos (-). La porción polar, amante del agua o hidrófila, es la que corresponde a la porción final del resto del ácido graso. Si el aceite se agita o se sacude en agua, forma gotas pequeñas. Las porciones no polares de las moléculas de lecitina se orientan hacia las gotas oleosas y los finales o terminales polares se orientan al exterior de la superficie de las gotas en la fase acuosa. En estas condiciones las gotas se repelen entre sí en vez de unirse formando una capa oleosa (Coenders, 1996 citado por Borda, 2011).

La composición de la lecitina depende de su origen, usualmente huevos o granos de soya. Los constituyentes mayores son fosfatidilcolina y fosfatidiletanolamina, los cuales se encuentran no ionizados a un pH fisiológico y no contribuyen a la carga superficial total (Márquez y otros, 2007 citados por Flores, 2014).

Una mezcla de fosfoglicéridos 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, específicamente sobre el esfuerzo mínimo de fluencia (Beckett, 2008 citados por Chire y Hartel, 2011).

La lecitina de soya es un emulsionante tan versátil que los investigadores constantemente la utilizan en las más variadas aplicaciones industriales como en el atemperado de chocolate oscuro. Se utiliza lecitina de soya del 0.1 y 0.3% porque mayores niveles dejan un gusto amargo, especialmente a concentraciones mayores a 0.4% (Chire y Hartel, 2011).

2.6. Aceptabilidad general

Las pruebas orientadas al consumidor incluyen las pruebas de preferencia, aceptabilidad y pruebas hedónicas (grado en que gusta un producto). Las pruebas hedónicas miden en cuanto agrada o desagrade un producto. Para esta prueba se utilizan escalas categorizadas donde los panelistas indican el grado en que les agrada cada muestra escogiendo la categoría apropiada. Esta prueba tiene ventajas porque requiere menor tiempo para evaluar, presenta procedimientos más interesantes para el juez, su poder de aplicación es amplio, puede ser utilizada por jueces no entrenados y puede tener un elevado número de estímulos (Ureña y otros, 1999).

2.6.1. Diseño de bloques incompletos

Se usan diseños aleatorizados por bloques cuando no pueden realizarse los ensayos de todas las combinaciones de tratamientos de cada bloque. Situaciones como éstas ocurren debido a escasez en los recursos del experimento, o por el tamaño físico de los bloques. En estos casos es posible usar diseños aleatorizados por bloques en los que cada tratamiento no está presente en cada bloque (Montgomery, 2004; Gózales, 2006).

2.6.2. Diseños por bloques incompletos parcialmente balanceados

No es posible construir diseños balanceados para todas las situaciones experimentales que requieren bloques incompletos; en algunos

casos, el número de réplicas necesario puede ser prohibitivo; por tanto, con frecuencia se construyen diseños parcialmente balanceados que requieren menos réplicas (Gómez, 2010).

El diseño de bloques incompletos, parcialmente balanceados, tiene algunos pares de tratamientos que aparecen en más bloques que otros pares, por lo que algunas comparaciones de tratamientos tendrán mayor precisión que otras. El diseño parcialmente balanceado es una alternativa atractiva cuando el diseño balanceado requiere un número excesivo de unidades experimentales (Mendiburu, 2014).

2.6.3. Prueba de Skillings-Mack

La estadística Skillings-Mack es una prueba estadística de tipo Friedman general que se puede utilizar en casi cualquier diseño de bloques con “n” datos que faltan arbitrariamente en la estructura. Los datos que faltan pueden ser desaparecidos por su diseño, por ejemplo, un diseño de bloques incompletos, o faltantes completamente al azar. La prueba Skillings-Mack es equivalente a la prueba de Friedman cuando faltan datos en un diseño de bloques incompletos (Skillings y Mack, 1981). La estadística de prueba Skillings-Mack es una generalización de la estadística que se usa en el método de Friedman y la prueba de rangos de Durbin. Esta prueba estadística no paramétrica es útil para los datos obtenidos a partir de los diseños de bloques con observaciones faltantes.

El p-valor de la prueba de Skillings-Mack está basado en la distribución de chi-cuadrado y el método de Monte Carlo. Se recomienda el método de Monte Carlo para aproximar el p-valor cuando hay muchos vínculos y pequeños

diseños que llevan a cabo los valores perdidos (Chatfield y Mander, 2009; Rajender, 2012).

La efectividad de esta prueba en diseños de bloques incompletos es igual que la prueba de Friedman para bloques completos; las respuestas son clasificadas dentro del bloque, pero Skillings-Mack pondera los bloques para explicar el diseño desequilibrado (Skillings y Mack, 1981).

La estadística de la prueba de Skillings-Mack considera la posibilidad de un diseño de bloques aleatorizados con los tratamientos $j = 1, \dots, k$, bloques $i = 1, \dots, n$, y X_{ij} respuestas.

		Tratamientos				
		1	..	j	..	k
bloques	1	X_{11}	..	X_{1j}	..	X_{1k}
	.					
	.					
	i	X_{i1}	..	X_{ij}	..	X_{ik}
	.					
	n	X_{n1}	..	X_{nj}	..	X_{nk}

El cálculo de la estadística de Skillings-Mack es el siguiente:

1. Calcular del vector de s_i , el número de valores observados dentro del bloque i .
2. Determinar el rango entre bloques, r_{ij}
 - a. Para valores observados: $r_{ij} = \text{rango de } X_{ij} \text{ en bloque } i$
 - b. Si la observación es faltante: $r_{ij} = (s_i + 1)/2$

Dentro de cada bloque, las observaciones se clasifican (rangos) de 1 a s_i , donde s_i es el número de tratamientos en el bloque i , y cuando se obtienen los rangos estos se promedian para obtener el rango promedio.

3. Calcular la suma ponderada de los rangos, A_j , donde:

$$A_j = \sum_{i=1}^n \left(\frac{12}{s_i + 1} \right)^{\frac{1}{2}} \left(r_{ij} - \frac{s_i + 1}{2} \right)$$

Componer la matriz $A = (A_j, \dots, A_{k-1})$

4. Determinar la matriz de covarianza para A:

$$\Sigma_0 = \begin{bmatrix} \sum_{t=2}^k \lambda_{1t} & -\lambda_{12} & -\lambda_{13} & \dots & -\lambda_{1,k-1} \\ -\lambda_{12} & \sum_{t \neq 2}^k \lambda_{2t} & -\lambda_{23} & \dots & -\lambda_{2,k-1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ -\lambda_{1,k-1} & -\lambda_{2,k-1} & -\lambda_{3,k-1} & \dots & \sum_{t \neq k-1}^k \lambda_{k-1} \end{bmatrix}$$

Para $t \neq q = 1, \dots, k$ (k tratamientos), donde $\lambda_{qt} = \lambda_{tq} =$ al número de bloques donde q y t tratamientos son observados

5. Calcular la estadística de Skillings-Mack:

$$SM = A \Sigma_0^{-1} A'$$

Donde Σ_0^{-1} es la inversa generalizada de Σ_0

Muñoz (2014) menciona que en la hipótesis nula para la estadística de Skillings-Mack no existe diferencias significativas en los τ_k efectos de los tratamientos versus la hipótesis alterna de que los tratamientos no son iguales:

$$H_0: [\tau_1 = \dots = \tau_k]$$

$$H_A: [\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k \text{ no son iguales}]$$

La hipótesis nula se rechaza si el valor de la estadística es mayor que o igual a un valor crítico. Sin embargo, porque hay un gran número de combinaciones de diseños de bloques aleatorios no balanceados, no hay un conjunto completo de tablas publicadas para estos valores críticos a excepción de un número limitado de casos especiales (Skillings y Mack, 1981). Estas tablas proporcionan una gran aproximación de la muestra al p-valor basado en la distribución chi-cuadrado con $k-1$ grados de libertad y un nivel de significación α . La hipótesis nula se rechaza si la estadística de Skillings-Mack $\geq X_{k-t, \alpha}^2$.

Skillings y Mack (1981) señalan que los valores de p de la aproximación chi-cuadrado son en la mayoría de los casos conservadores, sobre todo con el error tipo I de 0.01 o menos. Recomiendan la simulación para obtener los valores críticos para el estadístico Skillings-Mack. Existe un método de simular todas las posibles clasificaciones para la s_i valores observados, preservando al mismo tiempo las filas de las observaciones faltantes. Para cada clasificación simulada, la estadística de Skillings-Mack se calcula y se compara con el valor real de la estadística. El p-valor simulado es la proporción de estadísticas simuladas Skillings-Mack que son mayores que o igual a la estadística real, dividido por el número de simulaciones.

Si la prueba de Skillings-Mack muestra diferencias significativas entre las medias, se aplica la prueba de Comparaciones múltiples para obtener el mejor tratamiento (Gacula y Singh, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El desarrollo experimental principal y las evaluaciones físicas y sensoriales se realizaron en el Laboratorio de Ciencia de Alimentos y en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos, ambos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO). El extracto concentrado de yacón se preparó en el Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria (LABINM); de la UPAO. Las coberturas de chocolate con yacón y lecitina de soya se elaboraron en Industrias T'inkiy S.A.C en Lima.

3.2. Materiales y equipos

Se utilizó raíces de yacón (*Smallantus sonchifolius*) provenientes del Distrito de Usquil, provincia de Otuzco, departamento de La Libertad. Adquirida en el Mercado de Santo Dominguito.

3.2.1. Insumos

- Pasta de cacao. Marca Ecoandino.
- Manteca de cacao. Marca Ecoandino.
- Lecitina de soya. Tienda Comercial Sumán. Trujillo, La Libertad.
- Azúcar blanca cristal.

- Agua.
- Alcohol etílico de 70°.

3.2.2. Equipos

- Rotavapor R-3000/BÜCHI Switzerland. CIMATEC S.A. LABINM.
- Balanza analítica. Marca Mettler Toledo. Capacidad 0 – 210 g. Precisión ± 0.0001 g.
- DCM Melanger 20. Marca Premier.
- Refrigeradora. Marca Bosch. Modelo Frost 40. Rango 0 a 8 °C. Precisión ± 2 °C.
- Extractor de cocina. Marca Phillips.
- Estufa de convección de aire Marca METTLER. Rango 30 – 200 °C. Aprox. 1 °C
- Colorímetro. Marca Konica Minolta. Modelo CR-400.
- Termómetro digital. Marca Multidigital. Rango de 50 a 200 °C. Precisión ± 0.01 °C.
- Refractómetro digital. Modelo TR-032ATC. Rango de 0 a 30.
- Reómetro Digital. Marca Brookfield. Modelo DV – III +.
- Texturómetro. Marca Instron. Modelo 3342.

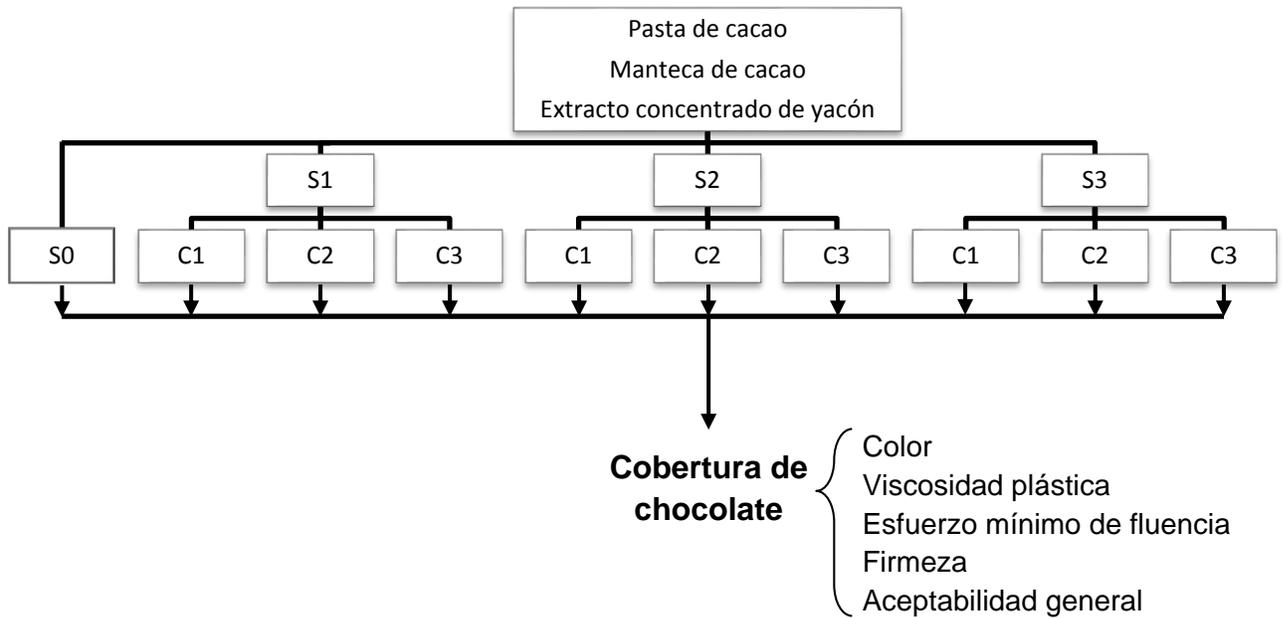
3.2.3. Materiales

- Ollas de acero inoxidable. Marca FACUSA.
- Cuchillos de acero inoxidable.
- Tablas de picar plásticos SANALITE.

- Tinas de plástico.
- Cucharas de acero inoxidable.
- Espátula de acero inoxidable.
- Colador grande de plástico.
- Papel aluminio.
- Vasos precipitados de vidrio.
- Botellas de vidrio.
- Moldes.
- Tapers de plástico.
- Micro espátula de acero inoxidable.
- Platos de plástico.
- Vasos de plástico.

3.3. Esquema experimental de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya en una cobertura de chocolate

La Figura 1 muestra el esquema experimental que tiene dos variables independientes: la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya; y como variables dependientes: el color, la viscosidad plástica, el esfuerzo mínimo de fluencia, la firmeza y la aceptabilidad general de las coberturas de chocolate.



Donde:

S0: Sin sustitución, 100% manteca de cacao

S1: 5% extracto concentrado de yacón, 95% manteca de cacao

S2: 7% extracto concentrado de yacón, 93% manteca de cacao

S3: 9% extracto concentrado de yacón, 91% manteca de cacao

C1: 0.10% lecitina de soya

C2: 0.25% lecitina de soya

C3: 0.50% lecitina de soya

Figura 1. Esquema experimental para la investigación sobre cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina.

3.4. Método experimental

3.4.1. Procedimiento experimental para la obtención del extracto concentrado de yacón

En la Figura 2, se presenta el diagrama de flujo para la obtención de extracto concentrado de yacón que comprendió la obtención del extracto simple y su posterior concentración. A continuación, se describe cada etapa.

Selección

Se seleccionaron las raíces de yacón en óptimo estado y frescas. Se utilizaron raíces de longitud y diámetro similares, de tamaño intermedio, ni muy grandes ni muy pequeñas. Las raíces inicialmente tuvieron un contenido de sólidos solubles de 5 °Brix.

Lavado

Se lavaron los yacones con agua potable, retirando la tierra adherida de la superficie. Se realizó manualmente.

Pelado

Se realizó manualmente, con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable, con la finalidad de eliminar la cáscara.

Cortado

Se efectuó con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable, mediante cortes transversales, obteniéndose rodajas de 1 cm de espesor.

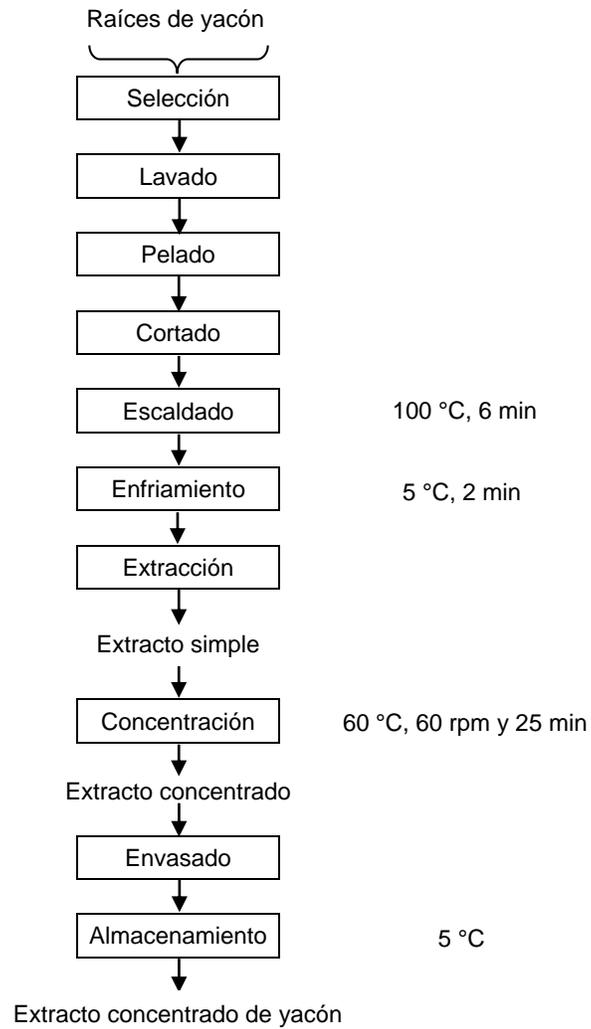


Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención del extracto concentrado de yacón.

Escaldado

Se sumergieron las rodajas de yacón en agua a 100 °C por 6 min. Para inactivar las enzimas responsables de los cambios de color.

Enfriamiento

Las rodajas de yacón escaldadas se sumergieron en agua fría a temperatura de 3 a 5 °C por 2 min.

Extracción

El extracto simple se obtuvo utilizando un extractor mecánico doméstico marca Phillips. El extracto se colocó en un vaso precipitado de vidrio de 250 mL, el que se envolvió completamente con papel aluminio y se almacenó en refrigeración a 5 ± 2 °C.

Concentración

El extracto simple se concentró mediante el uso de un rotavapor al vacío (R- 3000/BÜCHI Switzerland – CIMATEC S.A) a 60 °C y 60 rpm. Esta operación duró 25 min, hasta obtener un contenido final de sólidos solubles de 14.4 °Brix del extracto concentrado.

Envasado

El extracto concentrado de yacón se envasó en una botella de vidrio de 1L, cerrada con tapa rosca y envuelta totalmente con papel aluminio.

Almacenamiento

El extracto concentrado de yacón envasado se almacenó en refrigeración a 5 °C.

3.4.2. Procedimiento experimental para la elaboración de la cobertura de chocolate

En la Figura 3 se presenta el diagrama de flujo para la elaboración de la cobertura de chocolate. A continuación, se describe cada etapa.

Pesado

Se partió en trozos y se pesaron la pasta de cacao y la manteca de cacao por separado en la balanza.

Fundido

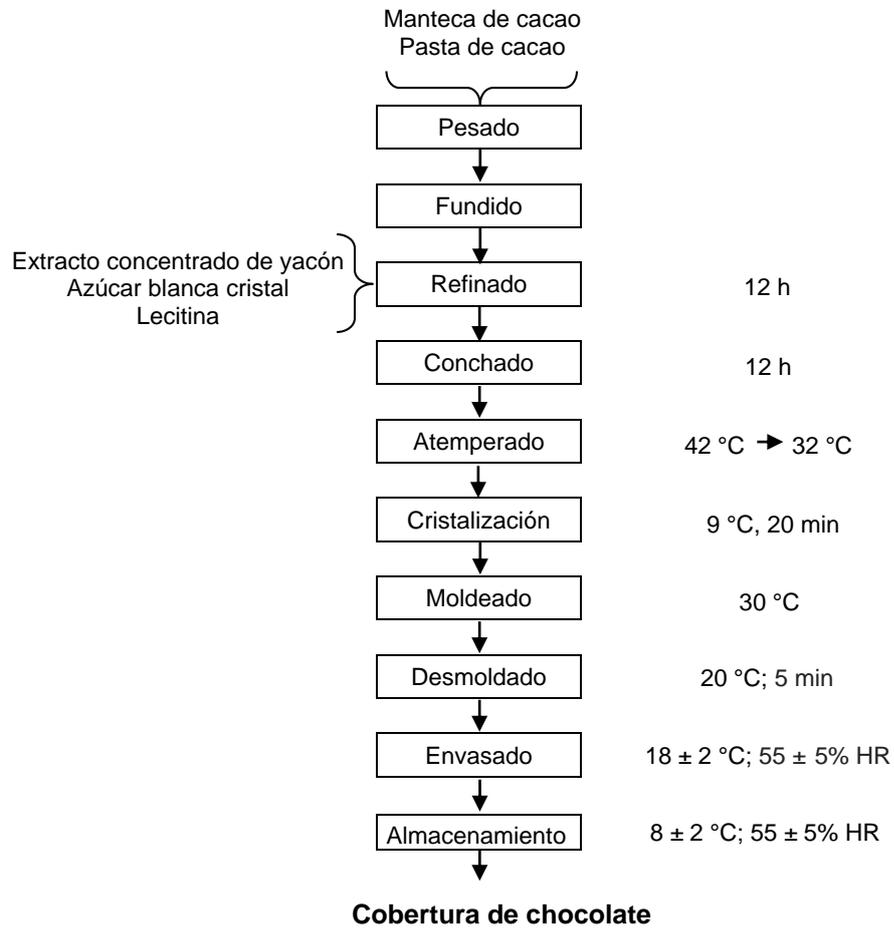
La manteca de cacao y pasta de cacao previamente troceadas se fundieron juntas en un horno de microondas por 30 s a 500 W.

Refinado

Etapa del proceso que genera la reducción de tamaño del total de las partículas. Se colocaron primero la pasta de cacao y la manteca de cacao derretidas, luego la lecitina de soya, el azúcar y, al final, el extracto concentrado de yacón se adicionó en pequeñas porciones. La refinación se realizó por 12 horas en el equipo DCM Melanger 20. Marca Premier.

Conchado

En esta operación se desarrolla el flavor y se convierte el chocolate de una pasta espesa en un líquido que fluya libremente y pueda emplearse para fabricar los productos finales. Además, el conchado, al reducir la viscosidad, asegura que el chocolate tenga las propiedades de fluencia correctas para las siguientes etapas del proceso (Beckett, 2002).



Fuente: Basado en Flores (2014)

Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de la cobertura de chocolate.

El conchado se realizó por 12 horas en el equipo DCM Melanger 20. Marca Premier.

Atemperado o Pre cristalización

Etapa del proceso de elaboración de la tableta de cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina de soya en la que una pequeña cantidad de la grasa del chocolate es sometida a una técnica de pre-cristalización controlada, de modo que estos cristales, con la cantidad necesaria, forma polimórfica y tamaños correctos, constituyen núcleos o semillas, que al devolverse a la grasa total, facilita que ésta se solidifique rápidamente, con los cristales apropiados. La cantidad de grasa necesaria para la pre-cristalización, se estima entre el 1 al 3% de la grasa total. El atemperado manual, con uso de un tablero de mármol, consiste en agregar la pequeña cantidad de cobertura de chocolate sobre un tablero frío (de mármol o granito), friccionar constantemente la mezcla inicial contra la superficie del tablero, con la ayuda de espátulas de acero inoxidable, y recoger la cobertura cuando alcanza la temperatura deseada. La grasa cristalizada se agrega al resto del chocolate y se bate hasta que la temperatura sea uniforme (Beckett, 2002).

La cobertura de chocolate fue atemperada siguiendo el perfil temperatura - tiempo siguiente: se inició con la masa a 42 °C, la que se enfrió a 32°C, (Chire, 2001). El atemperado fue manual, con ayuda de una plancha de mármol, espátula y termómetro.

Cristalización

En esta etapa se controla la fase grasa para generar la cantidad necesaria de cristales con la correcta forma polimórfica y tamaño, y así obtener las propiedades organolépticas y calidad requerida. Se busca el ordenamiento de los cristales que se forman al temperar la pasta de

chocolate maximizando la formación de los cristales (Afoakwa y otros, 2007; Yi, 2017).

Existen seis tipos de estructuras en las que pueden formarse los cristales en un chocolate. Las estructuras que se desean alcanzar son las de tipo V y VI debido a que son las más estables y compactas. Estas aseguran que el producto tenga una superficie brillante y no sea opaco, que cuente con buenas propiedades de fusión en la boca y no al manipularlo con la mano, que tenga la textura adecuada, que se facilite el posterior proceso de desmoldado y que se maximice el tiempo de vida evitando o retardando el defecto de afloramiento de grasa (Beckett (2008) citado por Yi, 2017).

La cristalización se realizó en una cámara que se encontraba a temperatura de 9 a 10 °C por 15 a 20 min.

Moldeado

Si el chocolate atemperado entra en contacto con una superficie caliente, los cristales del chocolate se empiezan a fundir, por lo que no habrá los suficientes para una solidificación adecuada. Por otro lado, el contacto inadecuado con una superficie fría, puede originar que parte de la grasa solidifique en una forma incorrecta. Esta grasa actuará como un cristal sembrado con la forma incorrecta, durante la etapa posterior de enfriamiento. Por consiguiente, es importante que los moldes vacíos se precalienten a una temperatura de unos pocos grados por debajo de la del chocolate atemperado, antes de empezar el proceso de moldeado (Beckett, 2002).

El moldeado se realizó utilizando moldes de plástico de polietileno de alta densidad, con capacidad para 12 unidades de tabletas de 30 mm x 30 mm x 15 mm, los que fueron calentados previamente a 30 °C. La cobertura de chocolate derretida y fría (31 °C aproximadamente) se

vertió en los moldes con ayuda de una cuchara y luego se retiró el exceso con una espátula de acero inoxidable. Inmediatamente después de llenado el molde, se lo hizo vibrar manualmente, para expulsar las burbujas de aire de la masa.

Desmoldado

Se desmoldaron las coberturas de chocolate sobre una plancha de acero inoxidable. Luego se retiraron los moldes y se desmoldaron en un ambiente con temperatura de 20 °C y se dejó por 5 minutos.

Envasado

Las tabletas de coberturas de chocolate se envasaron dentro de tapers de Polipropileno (PP) aprobado para contacto con alimentos, los tapers fueron redondos herméticos con tapa. En un ambiente con 18 ± 2 °C y humedad relativa de $60 \pm 5\%$.

Almacenamiento

Las coberturas de chocolate envasadas se colocaron en una refrigeradora a 8 ± 2 °C con una humedad relativa de $60 \pm 5\%$, hasta su utilización en la determinación de sus propiedades.

3.4.3. Tratamientos

En el Cuadro 2, se presenta la codificación de las variables para la elaboración de las coberturas de chocolate.

Cuadro 2. Codificación de los tratamientos para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Tratamientos	VARIABLES INDEPENDIENTES	
	(%) Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón	(%) Adición de lecitina de soya
S0	0	0.00
S1C1	5	0.10
S1C2	5	0.25
S1C3	5	0.50
S2C1	7	0.10
S2C2	7	0.25
S2C3	7	0.50
S3C1	9	0.10
S3C2	9	0.25
S3C3	9	0.50

3.4.4. Formulaciones de coberturas de chocolate

El Cuadro 3 presenta las formulaciones de los tratamientos.

Cuadro 3. Formulaciones de las coberturas de chocolate

Componentes	TRATAMIENTOS (%)									
	S0	S1			S2			S3		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Pasta de cacao	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Manteca de cacao	31	26	26	26	24	24	24	22	22	22
% Cacao	71	66	66	66	64	64	64	62	62	62
Azúcar blanca cristal	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Extracto concentrado de yacón	0	5	5	5	7	7	7	9	9	9
TOTAL 1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lecitina de soya	0	0.10	0.25	0.50	0.10	0.25	0.50	0.10	0.25	0.50
TOTAL 2	100	100.1	100.25	100.5	100.1	100.25	100.5	100.1	100.25	100.5
% Grasa	51	46	46	46	44	44	44	42	42	42

El control S0 está compuesto de pasta de cacao (40%), manteca de cacao (31%) y de azúcar (29%), que significa que tiene 71% de cacao, al sumar el 50% de la pasta de cacao con el % de manteca de cacao (31%); el porcentaje de grasa del control S0 es la mitad del porcentaje de grasa de la pasta de cacao (20%) más la grasa de la manteca de cacao (31%) lo queda un total de 51%, que se muestra en el Cuadro 3.

Los porcentajes de cacao y de grasa total de los otros tratamientos han sido calculados teniendo en cuenta el criterio expuesto.

3.5. Métodos de análisis

3.5.1. Color

Se empleó el colorímetro Konica Minolta CR-410, para la medición de L^* , a^* y b^* de las muestras de cobertura de chocolate de cada tratamiento.

Se conoce que:

Luminosidad, L^* , $L^*= 0$ para negro y $L^*=100$ para blanco.

+ a^* es una medida de la intensidad de color rojo.

- a^* de color verde.

+ b^* de la intensidad de color amarillo.

- b^* de color azul. Además, muestras con $a^* = b^* = 0$ son acromáticas (Pastor y otros, 2007 citado por Flores, 2014).

3.5.2. Viscosidad plástica de Casson y esfuerzo mínimo de fluencia de Casson

La viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson se determinaron siguiendo el método recomendado por las Asociaciones Norteamericanas NCA/CMA (National Confectioners Association/ Chocolate Manufactures Association), para las propiedades reológicas del chocolate (Brookfield, 2010).

Los esfuerzos de corte a diferentes velocidades de corte, se midieron en un Reómetro Digital Brookfield DV-III+, con husillo 27 y un recipiente de muestra 13R, con control térmico automático, por recirculación de agua. Se utilizaron 15 g de cada muestra de cobertura, las que fueron fundidas en la estufa a 50 °C por 75 min. Durante la prueba la muestra se mantuvo a 40 °C.

El reómetro registró automáticamente los valores de esfuerzo de corte para cada velocidad de corte constante, comprendidos entre 1.70 a 17 s⁻¹; también mostró los valores de viscosidad aparente. Al inicio de las pruebas, el Reómetro operó a 5 RPM (1.7 s⁻¹) por 15 min; luego se tomaron medidas continuas del esfuerzo de corte de 5 en 5 RPM, desde 5 RPM (17 s⁻¹) hasta 50 RPM, cada 30 s. Se realizó una corrida ascendente y descendente. Las mediciones se realizaron por triplicado. Se seleccionaron los datos de la corrida descendente para los cálculos. El esfuerzo mínimo de fluencia de Casson y la viscosidad plástica de Casson se obtuvieron mediante la aplicación de la ecuación de Steiner (Ecuación 4) descrita por Beckett (1994).

3.5.3. Firmeza

Junto con la apariencia visual, el sabor y el aroma, la textura es un atributo principal que define la calidad sensorial de los alimentos. La evaluación de textura es un proceso complejo y dinámico, que incluye la percepción visual de la superficie del producto, su comportamiento en la manipulación inicial y la integración de las sensaciones orales experimentadas durante la masticación y deglución, compiladas por el cerebro humano en una sensación única de textura (Costell y Duran, 2005 citados por Rezende y otros, 2015).

Se determinó la firmeza con la ayuda del texturómetro INSTRON, mediante la prueba de penetración con un sensor de cilindro de 4.6 mm de diámetro, se realizó con una velocidad 1.5 mm/s en el centro con la intención de deformar (partir, flexionar, etc.) el producto (Alvis y otros, 2011); tomando las lecturas de fuerza de penetración a 2 y 4 mm de profundidad. Para la determinación de la firmeza se utilizaron muestras de los diferentes tratamientos con las medidas de 3 cm x 3 cm x 0.75 cm.

3.5.4. Aceptabilidad general

Para determinar la aceptabilidad general de las muestras de cobertura de chocolate se aplicó una prueba de evaluación sensorial con una escala hedónica estructurada de 9 categorías.

En la presente investigación las pruebas de aceptabilidad general se realizaron con luz blanca, las muestras de chocolate a 8 ± 2 °C, se mantuvieron a temperatura ambiente antes de ser degustadas. Se presentó a cada panelista 5 muestras de cobertura de chocolate con extracto concentrado de yacón y lecitina de soya, cada muestra fue de 5 g; las que

fueron escogidas aleatoriamente de los 10 tratamientos por el software APP Random Number Generator. Se sirvió agua mineral a temperatura ambiente a cada panelista entre muestras. Fueron 40 panelistas los que realizaron la prueba de aceptabilidad general, los cuales fueron estudiantes de la Escuela de Ingeniería de Industrias Alimentarias, egresados de la carrera de Ingeniería de Industrias Alimentarias e Ingeniería Industrial de la Universidad Privada Antenor Orrego, Magisters y Doctores de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Los panelistas fueron consumidores habituales de chocolate. La prueba fue realizada en dos días consecutivos.

Muñoz (2014) señala que, para evitar la saturación del panelista durante el análisis sensorial, por ser 10 muestras de cobertura de chocolate, se utilizó la Prueba de Skillings – Mack la que se aplicó para que cada uno de los evaluadores reciba solamente 05 muestras, las que fueron escogidas al azar.

En la Figura 4 se muestra la tarjeta de evaluación de la aceptabilidad general de las muestras de cobertura de chocolate.

TARJETA DE EVALUACIÓN DE ACEPTABILIDAD GENERAL

NOMBRE:

FECHA:

Se presentan muestras de coberturas de chocolate. A continuación, examine, deguste y clasifique las muestras, marcando un aspa (x) en el casillero del código correspondiente según su nivel de agrado o desagrado.

CATEGORÍAS	CÓDIGOS DE MUESTRAS				
	153	367	189	945	927
ME GUSTA MUCHÍSIMO					
ME GUSTA MUCHO					
ME GUSTA					
ME GUSTA POCO					
NI ME GUSTA NI ME DISGUSTA					
ME DISGUSTA POCO					
ME DISGUSTA					
ME DISGUSTA MUCHO					
ME DISGUSTA MUCHÍSIMO					

Comentarios:

Figura 4. Tarjeta de evaluación de aceptabilidad general para las muestras de cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina.

3.6. Método estadístico

El método estadístico correspondió a un diseño bifactorial (extracto de yacón y lecitina de soya), 4 x 3, con 3 repeticiones. Para las variables paramétricas: color (L^* , a^* y b^*), viscosidad plástica de Casson, esfuerzo mínimo de fluencia de Casson y firmeza se empleó la prueba de Levene modificada para determinar la homogeneidad de varianzas, posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANVA), y a continuación, al existir diferencias significativas ($p < 0.05$) se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, la cual comparó los resultados mediante la formación de subgrupos y se determinó de esta manera el mejor tratamiento. La aceptabilidad general fue evaluada mediante la prueba no paramétrica de Skilling-Mack (para bloques incompletos no balanceados).

Todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó los paquetes especializados Statistical Package for the Social Science (IBM-SPSS) versión 24.0 y R 3.2.5.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya sobre el color en las coberturas de chocolate

En el Anexo 1 se presentan los resultados experimentales de L^* , a^* y b^* de las mediciones realizadas con el colorímetro Konica Minolta.

Para el chocolate perfecto, tanto los fabricantes como los consumidores, prestan especial atención a su apariencia. El color es uno de los atributos esenciales en la elaboración del chocolate; mantener su consistencia es un desafío de singular importancia para lograr la calidad correcta (Konica Minolta, 2018).

Entre los factores que contribuyen a la apariencia del chocolate (color, forma, tamaño, brillo, etc.), el color es el que más influye en la aceptación de los consumidores (Flores, 2014). El contenido de cacao afecta al cambio de color del chocolate durante su almacenamiento; a mayor porcentaje de cacao, más estable es el color (Pastor y otros, 2007, citados por Flores, 2014).

La Figura 5 muestra que el valor de luminosidad L^* para el control fue de 25.93; teniendo valores muy cercanos en las tabletas con 5% extracto concentrado de yacón y 0.10% lecitina de soya (S1C1) con 25.80; 9% extracto concentrado de yacón y 0.10% lecitina de soya (S3C1) con 25.82, y 9% extracto concentrado de yacón y 0.50% lecitina de soya (S3C3) con 25.87.

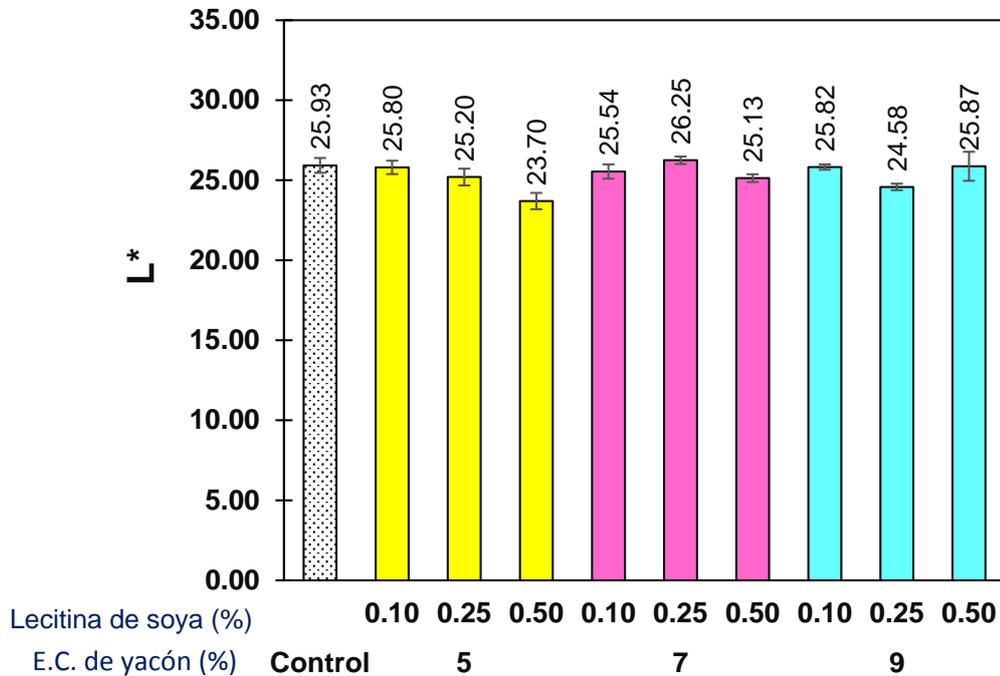


Figura 5. Valores de L* para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Torbica y otros (2014) elaboraron chocolates con sustituciones parciales de la manteca de cacao por CBE (equivalentes de manteca de cacao), con dureza moderada. Las muestras, con tres concentraciones de CBE (3, 5 y 7%), se sometieron a tres temperaturas de precrystalización (25, 27 y 29 °C). A 25 °C, L* para el control fue 23.70; 25.80 a la concentración de 3% CBE; 25.59 a la concentración de 5% CBE y 26.27 a la concentración de 7% de CBE. En la presente investigación el rango de los valores experimentales de L* para todos los tratamientos, está entre 23.70 y 26.25, que contiene a los valores experimentales de la evidencia mencionada.

Según Chire y Hartel (2011), las características iniciales de apariencia del chocolate oscuro, medidas como índice de blancura y brillo, muestran que tiene un color marrón intenso parejo, así como un brillo, resultado de un buen atemperado. Los que menos brillo presentan son los chocolates

oscuros con 0.1 y 0.3% de lecitina de soya, afirmando que los emulsificantes contribuyen a la apariencia superficial del producto. El incremento del índice de blancura y la pérdida del brillo, se relacionan con el deterioro del chocolate oscuro. En la presente investigación se observó visualmente que los tratamientos S3C2 ($L^* = 24.58$) y S3C3 ($L^* = 25.87$), ambos con 9% de extracto de yacón con 0.25 y 0.50% de lecitina de soya respectivamente, destacaron por el brillo de sus tabletas de chocolate, a diferencia de los demás tratamientos.

La Figura 6 muestra que el control presentó un valor de a^* de 11.09; obteniéndose valores cercanos en las tabletas de 7% extracto concentrado de yacón y 0.50% lecitina de soya (S2C3) con 10.80; 9% extracto concentrado de yacón y 0.25% lecitina de soya (S3C2) con 10.51, y 9% extracto concentrado de yacón y 0.50% lecitina de soya (S3C3) con 10.58.

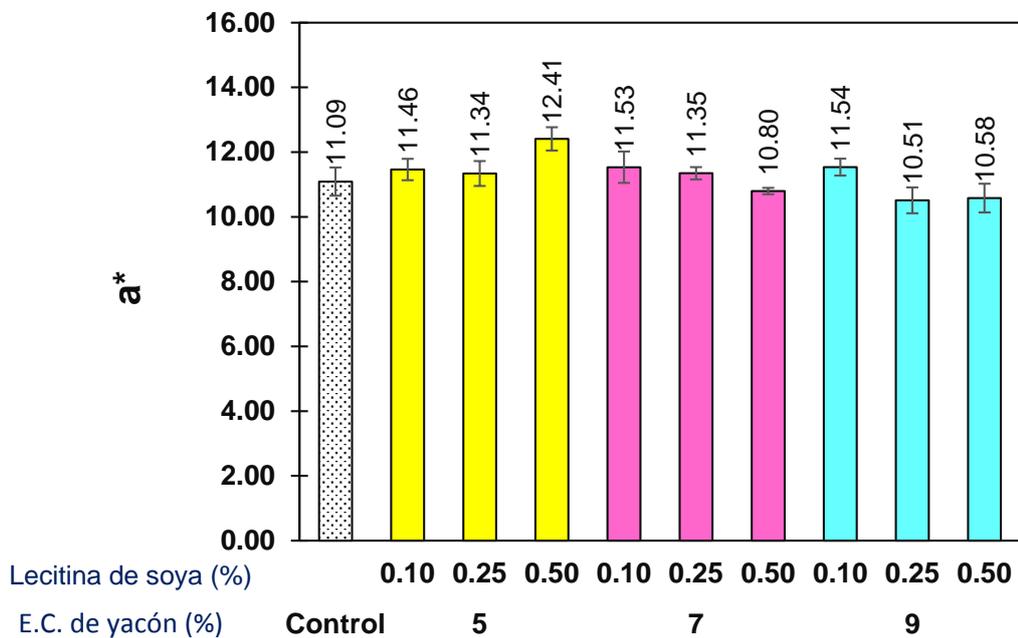


Figura 6. Valores de a^* para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Popov y otros (2013) investigaron distintas marcas comerciales de chocolates dietéticos y obtuvieron para a^* los valores de: 11.09 para la muestra Vollmilch; Schnee Koppe (Germany), 12.22 para la muestra Pionir, Subotica (Serbia) y 11.28 para la muestra Betis, Soko Štark (Serbia). En la presente investigación se obtuvieron valores de a^* , en el control y en los tratamientos S1C1, S1C2, S2C1, S2C2 y S3C1, que se encuentran dentro del rango (11.09-12.22) de la referencia citada

La Figura 7 muestra que el control presentó un valor de b^* de 8.94, siendo muy cercanos los valores de las tabletas con 7% de extracto concentrado de yacón y 0.50% lecitina de soya (S2C3) de 8.89, y valor más bajo de 8.55 con 9% extracto concentrado de yacón y 0.25% lecitina de soya (S3C2).

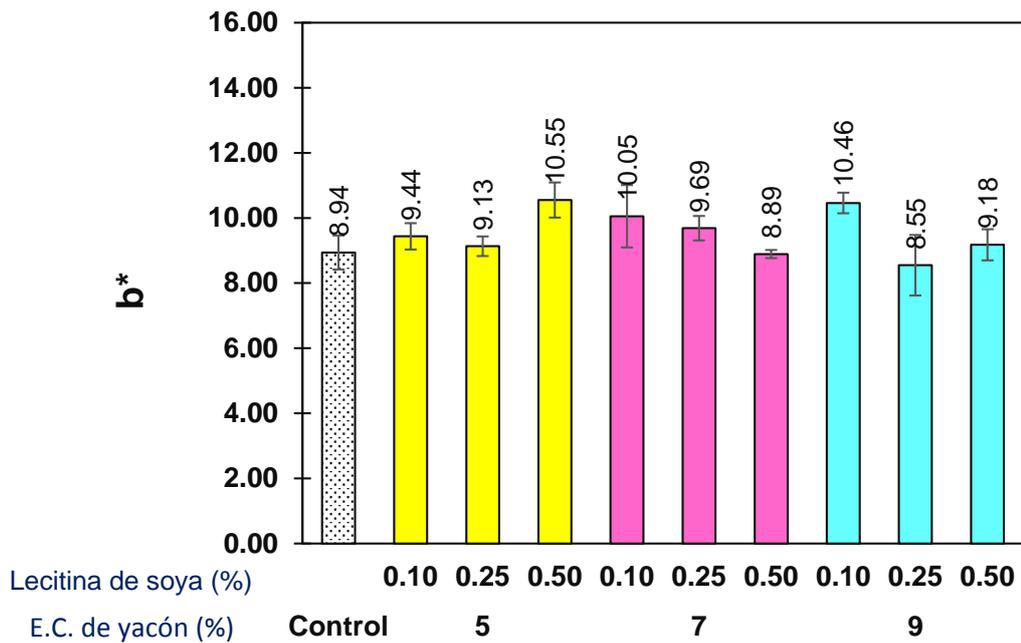


Figura 7. Valores de b^* para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

El Cuadro 4 presenta la prueba de Levene para los valores de L^* , a^* y b^* , en el que se muestra que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el Análisis de Varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 4. Prueba de Levene sobre el color en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Variable	Estadístico de Levene	p
L^*	0.380	0.918
a^*	0.340	0.941
b^*	0.450	0.873

En el Cuadro 5, el análisis de varianza indica que la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón, la adición de lecitina de soya y la interacción yacón-lecitina presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre L^* y a^* ; en b^* se presentaron diferencias significativas por efecto de la adición de lecitina y de la interacción yacón-lecitina, pero no por la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón.

El Cuadro 6, muestra los resultados de la Prueba Duncan para el valor de luminosidad (L^*) para las coberturas de chocolate con sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya.

Los resultados de la aplicación de la prueba de Duncan para los valores de L^* muestran que los tratamientos se ubican en cuatro subgrupos; el control, con L^* de 25.93, se presenta en los subgrupos 3 y 4. En el subgrupo 4 se encuentran las tabletas de chocolate más claras, con mayor valor de L^* , encontrándose dentro de él a los tratamientos con 7% de extracto de yacón y la adición de lecitina al 0.10 y 0.25% (S2C1 y S2C2); extracto de yacón al 9% y la adición de lecitina al 0.10 y 0.50% (S3C1 y S3C3); y extracto de

Cuadro 5. Análisis de varianza para el color L*, a* y b* en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Variable	Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
L*	Yacón: Y	2.609	2	1.305	6.119	0.009
	Lecitina: L	3.056	2	1.528	7.167	0.005
	Y*L	9.140	4	2.285	10.717	0.000
	Error	3.838	18	0.213		
	Total	18.643	26			
a*	Yacón: Y	3.376	2	1.688	13.901	0.000
	Lecitina: L	0.898	2	0.449	3.697	0.045
	Y*L	3.999	4	1.000	8.234	0.001
	Error	2.186	18	0.121		
	Total	10.458	26			
b*	Yacón: Y	0.439	2	0.220	0.703	0.508
	Lecitina: L	3.329	2	1.665	5.327	0.015
	Y*L	7.836	4	1.959	6.269	0.002
	Error	5.625	18	0.312		
	Total	17.229	26			

Cuadro 6. Prueba de Duncan para L* en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Código	Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón	Adición de lecitina de soya (%)	Subgrupo			
			1	2	3	4
S1C3	5	0.50	23.70			
S3C2	9	0.25		24.58		
S2C3	7	0.50		25.13	25.13	
S1C2	5	0.25		25.20	25.20	
S2C1	7	0.10			25.54	25.54
S1C1	5	0.10			25.80	25.80
S3C1	9	0.10			25.82	25.82
S3C3	9	0.50			25.87	25.87
S0	Control				25.93	25.93
S2C2	7	0.25				26.25

yacón al 5% y la adición de lecitina de 0.10% (S1C1); estos tratamientos son iguales entre sí y con el control; y no tienen diferencia estadística significativa entre ellos.

El tratamiento S3C2 (9% extracto de yacón y 0.25% lecitina) del subgrupo 2, tiene un valor de L^* estadísticamente igual al de los tratamientos S2C3 y S1C2 con un valor menor, con color más oscuro, comparado con los de los subgrupos 3 y 4, dentro de los cuales se encuentra el control.

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de la prueba Duncan para el valor a^* en las coberturas de chocolate con sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya.

La prueba Duncan muestra que el tratamiento S1C3 (5% de extracto de yacón y 0.50% de lecitina) es el que tiene el valor más alto de a^* (12.41) y es estadísticamente diferente a los demás tratamientos y al control. En el subgrupo 1 se ubica al control, con un valor de a^* de 11.09, y a los tratamientos con extracto de yacón al 9% y la adición de lecitina de 0.25 y 0.50% (S3C2 y S3C3, respectivamente) y al S3C3, con extracto de yacón al 7% y la adición de lecitina de 0.50%. Lo que indica que las muestras de estos tratamientos tienen valores de a^* que son estadísticamente iguales, al estar en el mismo grupo y no tener diferencias significativas entre sí.

El tratamiento S3C2 (9% de extracto de yacón y 0.25% de lecitina) tiene un valor de a^* de 10.51, que no es estadísticamente diferente del valor de a^* del control (11.09), por lo que se considera que tiene un valor adecuado de a^* para la cobertura de chocolate de la presente investigación.

Cuadro 7. Prueba de Duncan para a^* en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Código	Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón	Adición de lecitina de soya (%)	Subgrupo			
			1	2	3	4
S3C2	9	0.25	10.51			
S3C3	9	0.50	10.58			
S2C3	7	0.50	10.80	10.80		
S0	Control		11.09	11.09	11.09	
S1C2	5	0.25		11.34	11.34	
S2C2	7	0.25		11.35	11.35	
S1C1	5	0.10		11.46	11.46	
S2C1	7	0.10			11.53	
S3C1	9	0.10			11.54	
S1C3	5	0.50				12.41

El Cuadro 8, presenta los resultados de la Prueba de Duncan para el valor de b^* en las coberturas de chocolate con sustitución parcial de manteca de cacao por extracto de yacón y la adición de lecitina de soya. El control, con b^* de 8.94, se ubica en los subgrupos 1 y 2. El subgrupo 1 contiene los tratamientos con menores valores de b^* y se diferencia por tener al tratamiento S3C2, con 9% de extracto de yacón y 0.25% de lecitina, junto con el control y los tratamientos con extracto de yacón al 9% y lecitina al 0.50% (S3C3); con extracto de yacón al 7% y lecitina al 0.50% (S2C3); y con extracto de yacón al 5% y lecitina al 0.10 y 0.25% (S1C1 y S1C2, respectivamente). Estos resultados indican que las muestras de estos tratamientos son estadísticamente iguales, al estar en el mismo grupo, y no tienen diferencias significativas entre sí.

Cuadro 8. Prueba de Duncan para b^* en cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Código	Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (%)	Adición de lecitina de soya (%)	Subgrupo			
			1	2	3	4
S3C2	9	0.25	8.55			
S2C3	7	0.50	8.89	8.89		
S0	Control		8.94	8.94		
S1C2	5	0.25	9.13	9.13	9.13	
S3C3	9	0.50	9.18	9.18	9.18	
S1C1	5	0.10	9.44	9.44	9.44	
S2C2	7	0.25		9.69	9.69	9.69
S2C1	7	0.10			10.05	10.05
S3C1	9	0.10				10.46
S1C3	5	0.50				10.55

La prueba Duncan muestra que el tratamiento S3C2 (9% de extracto de yacón y 0.25% de lecitina) no se diferencia significativamente del control, por lo que se considera que tiene un valor adecuado de b^* para la cobertura de chocolate de la presente investigación.

Por las propiedades L^* , a^* y b^* , se considera que el tratamiento S3C2, con sus valores de L^* (24.58), a^* (10.51) y b^* (8.55), tiene las características adecuadas de color para la cobertura de chocolate, por tener valores cercanos a los del control.

4.2. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya sobre la viscosidad plástica en coberturas de chocolate.

El chocolate es un fluido no newtoniano cuya viscosidad aparente es afectada por la presencia de sólidos en suspensión. El chocolate es una suspensión de partículas en una fase grasa, por lo que su viscosidad aparente disminuye con el aumento de la velocidad de corte (Flores, 2014).

Los valores experimentales que se presentan en el Anexo 2, comprueban este comportamiento en la investigación. Con los datos experimentales seleccionados de esfuerzo de corte y velocidad de corte se han calculado los valores de la viscosidad aparente (Anexo 2), de la viscosidad plástica de Casson, y del esfuerzo mínimo de fluencia de Casson (Anexo 3) medida a 40 °C; para todos los tratamientos investigados de las coberturas de chocolate conteniendo extracto de yacón y lecitina.

La Figura 8 muestra que el control (S0) tuvo una viscosidad plástica de 1.15 Pa.s, presentando valores cercanos los tratamientos con 7% de extracto concentrado de yacón y 0.10% lecitina de soya (S2C1) con 1.14 Pa.s; 9% de extracto concentrado de yacón y 0.10% lecitina de soya (S3C1) con 1.13 Pa.s, y el de 9% de extracto concentrado de yacón y 0.25% lecitina de soya (S3C2) con 0.98 Pa.s.

La viscosidad plástica de Casson depende de varios factores, incluido el contenido de grasa y la distribución del tamaño de partícula (Servais y otros, 2002). Conforme aumenta la sustitución de manteca de cacao, se incrementa la viscosidad plástica de Casson y este comportamiento se repite para cada proporción creciente de grasa de almendra de mango/oleína de palma (TR2, TR5 y TR8) (Flores, 2014). Este parámetro está relacionado con la energía necesaria para mantener el chocolate en

movimiento, una vez que ya ha empezado a fluir, y con su espesor, cuando se mueve relativamente rápido (Beckett, 2002).

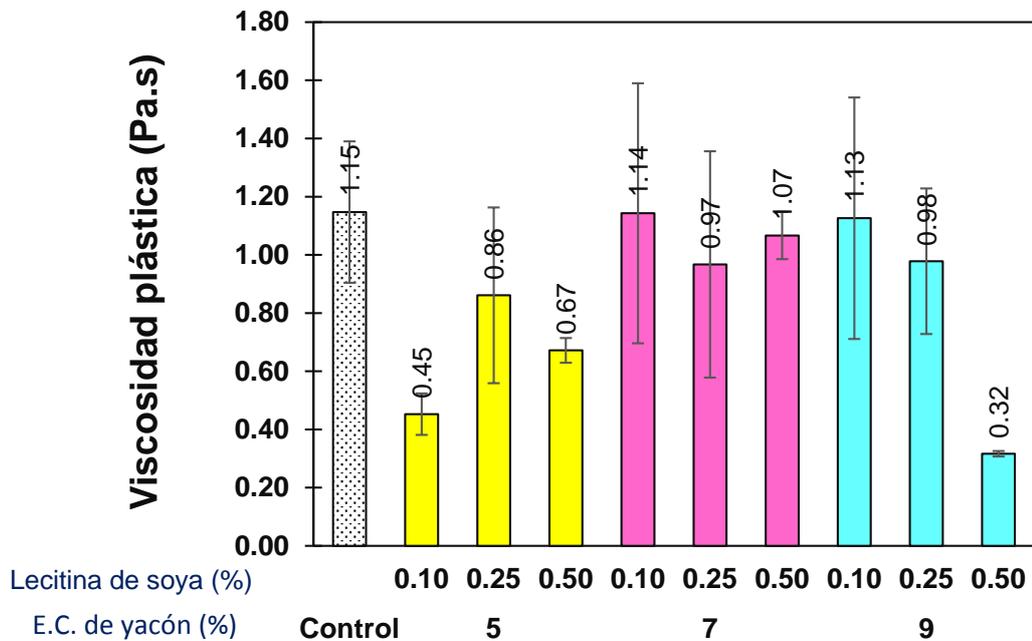


Figura 8. Viscosidad plástica para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

En la presente investigación, como muestra la Figura 8, las sustituciones parciales de manteca de cacao por extracto de yacón mostraron viscosidades plásticas de valores menores que la del control (1.15 Pa.s). Si se excluye al control del análisis que sigue, comparando solamente con los otros tratamientos, se nota que, para el menor contenido de lecitina de soya (0.10%), aumentaron las viscosidades plásticas en las tabletas de chocolate con mayores contenidos de extracto de yacón (7 y 9%), como se aprecia en los tratamientos: S2C1 (1.14 Pa.s) y S3C1 (1.13 Pa.s), al compararlos con el tratamiento S1C1 con 0.45 Pa.s.

Los valores de la viscosidad plástica de Casson, reportados por Beckett (1994), para cobertura de chocolate, sin sustitución de manteca de cacao, están dentro del rango de 0.5 - 2.5 Pa.s. Los resultados obtenidos en la

presente investigación, para el control y los tratamientos, a excepción de S1C1 y S3C3, por ser valores menores, están dentro del rango citado.

Vissotto y otros (2005) analizaron las características físico-químicas y la reología de coberturas de chocolates, de cuatro marcas de chocolate medio amargo, elaboradas con grasas alternativas; reportando viscosidades plásticas de Casson de 1.12 a 3.95 Pa.s. Al comparar los valores de estas evidencias, con los resultados de esta investigación, se aprecia que el control y los tratamientos S2C1 y S3C1 están en la parte inferior del rango reportado. Obteniendo valores cercanos los tratamientos S3C2, S2C2 y S2C3.

Leite y otros (2013) evaluaron reologicamente formulaciones de chocolates elaborados a partir de diferentes cultivares de cacao. La formulación tuvo pasta de cacao (67%), manteca de cacao (6.6 %), azúcar refinada (26 %) y lecitina de soya (0.4 %). El valor de viscosidad plástica de Casson de la formulación fue de 1.19 Pa.s. En la presente investigación el control (S0) y los tratamientos S2C1 y S3C1 tienen viscosidades plásticas de 1.13 a 1.15 Pa.s, que son cercanos al valor reportado.

Fernandes y otros (2013) investigaron el comportamiento reológico de muestras de chocolate oscuro que contenían 60, 70 y 75% de una base de cacao (BC), constituida por 90% de la cepa de cacao y el 10% de manteca de cacao. Las pruebas se realizaron a cuatro temperaturas diferentes: 35, 40, 45 y 50 °C. A la temperatura de 40 °C, los resultados para la viscosidad plástica con el 60% de la BC fue de 0.90 Pa.s; en la muestra que contenía el 70%, el valor fue de 0.65 Pa. s y para la muestra que contenía el 75% de la BC, el valor encontrado fue de 0.39 Pa.s. Comparando los resultados reportados en las evidencias mencionadas anteriormente, con los resultados experimentales de esta investigación, se nota que los tratamientos: S1C1 (0.45 Pa.s) y S3C2 (0.98 Pa.s) proporcionan valores

muy cercanos, destacando que son los menores valores de viscosidad plástica de Casson encontrados en la investigación.

Halimatun y otros (2018) evaluaron una formulación de chocolate con manteca de cacao (10.5%), pasta de cacao (39.5%), aceite de coco (4.50%), azúcar (45%) y lecitina (0.5%), reportando resultados para la viscosidad plástica de 1.03 a 1.15 Pa.s. En la presente investigación los resultados obtenidos son cercanos en los tratamientos S0 (control), S2C1 S2C3 y S3C1 (1.15, 1.07, 1.14 y 1.13 Pa.s, respectivamente).

Biswas y otros (2017) examinaron el comportamiento de flujo de los chocolates utilizando un reómetro RS600 (HAAKE RheoStress 600, Thermo Electron Corp., Karlsruhe, Alemania), aplicando un procedimiento de flujo escalonado, aumentando la velocidad de corte logarítmicamente de 2 s^{-1} a 65 s^{-1} . Cuando la velocidad de corte aumentó gradualmente, la viscosidad aparente disminuyó correspondientemente. La viscosidad plástica para la formulación control fue de 2 Pa.s. Comparando con la presente investigación, los chocolates fueron medidos con el Reómetro Brookfield DV- III con una velocidad de corte de 1.70 s^{-1} a 17 s^{-1} obteniendo para la viscosidad plástica valores menores en el control (1.15 Pa.s) y en los tratamientos: S2C1 (1.14 Pa.s) y S3C1 (1.13 Pa.s).

Según Żyżelewicz (2007), los chocolates muy viscosos dan malos atributos sensoriales durante el consumo, al adherirse a la lengua y al paladar; valores menores de viscosidad plástica de Casson, en las coberturas de chocolate, permiten un mejor proceso de revestimiento, con la formación de una capa de menor espesor. Además, menores valores de viscosidad plástica de Casson disminuyen la resistencia al flujo durante el mezclado y bombeado (Visotto y otros, 1999, citados por Flores, 2014).

La viscosidad influye en el sabor y la textura y de esta forma la reología está relacionada con las características sensoriales del producto (Afoakwa, 2009 citado por Da Cunha y otros, 2010).

El Cuadro 9 presenta los resultados de la aplicación de la prueba de Levene para los valores de viscosidad plástica de las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina.

Cuadro 9. Prueba de Levene para la viscosidad plástica en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Variable	Estadístico de Levene	p
Viscosidad plástica (Pa.s)	0.800	0.614

Se concluye que existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

En el Cuadro 10, se muestra el Análisis de varianza sobre la viscosidad plástica en las coberturas de chocolate indica que la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la interacción yacón-lecitina presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la viscosidad plástica. La lecitina de soya no presentó efecto significativo.

Halimatun y otros (2018) evaluaron la influencia de la composición de chocolates en la viscosidad plástica; la formulación B elaborada con manteca de cacao (12%), pasta de cacao (39.5%), aceite de coco (3%), azúcar (45%) y lecitina (0.5%) y la formulación C elaborada con manteca de cacao (10.5%), pasta de cacao (39.5%), aceite de coco (4.50%), azúcar (45%) y lecitina (0.5%) mostraron efecto significativo ($p < 0.05$) en la

viscosidad plástica de Casson del chocolate B (1.39 Pa s) y del C (1.09 Pa s).

Cuadro 10. Análisis de varianza para la viscosidad plástica en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Yacón: Y	0.727	2	0.363	4.740	0.022
Lecitina: L	0.339	2	0.169	2.208	0.139
Y*L	1.073	4	0.268	3.499	0.028
Error	1.380	18	0.077		
Total	3.519	26			

En el Cuadro 11, se presentan los resultados de la Prueba de Duncan aplicada a los valores de viscosidad plástica de Casson de las coberturas de chocolate con la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto de yacón y la adición de lecitina, usada como apoyo para determinar la tendencia hacia los tratamientos con mejores valores de viscosidad plástica de Casson.

Se observa en el subgrupo 3 al control con viscosidad plástica de 1.15 Pa. s, encontrándose a los tratamientos con extracto de yacón al 7% y la adición de lecitina al 0.10%, 0.25% y 0.50% (S2C1, S2C2 y S2C3); extracto de yacón 5% y la adición de lecitina al 0.25% y 0.50% (S1C2 y S1C3); y extracto de yacón de 9% con lecitina de 0.10% y 0.25% (S3C1 y S3C2) estadísticamente iguales al estar en el mismo subgrupo. A mayor concentración de lecitina la viscosidad plástica baja, a mayor concentración de yacón la viscosidad aumenta; lo que indica un efecto contrario.

Cuadro 11. Prueba de Duncan para la viscosidad plástica en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Código	Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (%)	Adición de lecitina de soya (%)	Subgrupo		
			1	2	3
S3C3	9	0.50	0.32		
S1C1	5	0.10	0.45	0.45	
S1C3	5	0.50	0.67	0.67	0.67
S1C2	5	0.25		0.86	0.86
S2C2	7	0.25			0.97
S3C2	9	0.25			0.98
S2C3	7	0.50			1.07
S3C1	9	0.10			1.13
S2C1	7	0.10			1.14
S0	Control				1.15

A bajo contenido de lecitina predomina el efecto de concentración de extracto de yacón, y la viscosidad aumenta. A mayor contenido de lecitina, predomina el efecto de la lecitina y la viscosidad disminuye.

A partir de la prueba Duncan, se nota que el tratamiento S3C2 no tuvo diferencia significativa con el control, obteniendo un valor adecuado de viscosidad plástica (0.98 Pa.s), para la cobertura de chocolate con extracto concentrado de yacón y adición de lecitina de soya de la presente investigación, que puede influir positivamente en la firmeza y en las características sensoriales de las coberturas.

4.3. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya sobre el esfuerzo mínimo de fluencia en coberturas de chocolate

El Anexo 3 presenta los resultados obtenidos para los valores de esfuerzo mínimo de fluencia de cada tratamiento, obtenidos a partir de los datos experimentales contenidos en el Anexo 2.

Según Beckett (1994), el esfuerzo mínimo de fluencia está relacionado con la energía necesaria para que el chocolate comience a fluir; si se aplica menos energía generará una deformación elástica y no una deformación permanente, por lo que este valor es importante para el diseño, control del proceso y para predecir su aceptabilidad sensorial. Este parámetro se afecta por la interacción partícula-partícula, el área superficial específica, la cantidad de partículas, el emulsificante y la humedad (Afoakwa y otros, 2007).

La Figura 9 muestra que el control presentó un esfuerzo mínimo de fluencia de 14.52 Pa; obteniendo resultados cercanos los tratamientos de 5% de extracto concentrado de yacón y 0.50% de lecitina de soya (S1C3) con 14.95 Pa, y de 9% de extracto concentrado de yacón y 0.25% lecitina de soya (S3C2) con 15.16 Pa.

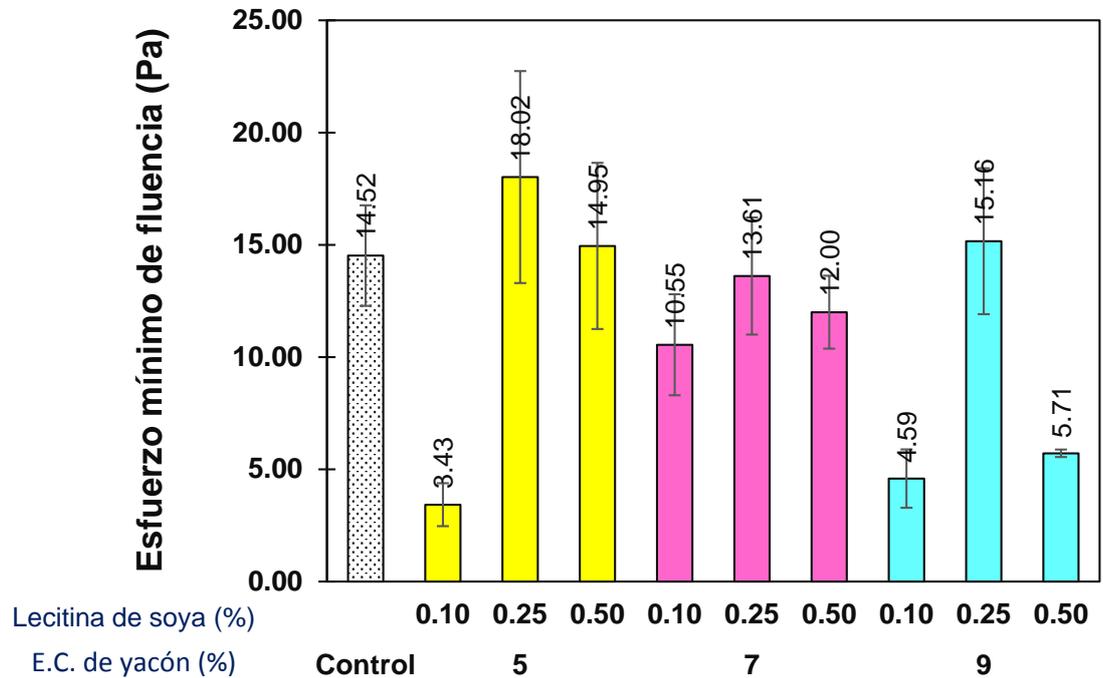


Figura 9. Esfuerzos mínimos de fluencia en las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Depoortere (2011) reportó un esfuerzo mínimo de fluencia de 7.8 Pa, para coberturas sin sustitución de manteca de cacao; Becket (1994) encontró valores de 0 a 20 Pa; Wilson (1991) evaluó coberturas comerciales de chocolate amargo encontrando un esfuerzo mínimo de fluencia de 10.6 Pa, mientras que Żyżelewicz y otros (2012), citados por Flores (2014), obtuvieron un esfuerzo mínimo de fluencia para cobertura de chocolate de 8.86 Pa. En la presente investigación los valores mínimos de fluencia hallados son de 3.43 a 18.02 Pa, los que se encuentran dentro del rango reportado por los citados autores.

Visotto y otros (1999) citados por Flores (2014), evaluaron el contenido de azúcar, humedad, temperatura de fusión, índice de peróxidos, ácidos grasos, comportamiento de fusión, viscosidad plástica de Casson y esfuerzo mínimo de fluencia en 08 coberturas comerciales de chocolate

oscuro conteniendo análogos de manteca de cacao. Encontraron valores para esfuerzos mínimos de fluencia de 7.11 a 15.26 Pa. En la presente investigación, los tratamientos: S1C3 (14.95 Pa), S2C1 (10.55 Pa), S2C2 (13.61 Pa), S2C3 (12.00) y S3C2 (15.16 Pa) tienen valores de este parámetro que están en la parte superior del rango reportado.

Leite y otros (2013) evaluaron las propiedades reológicas de una formulación en chocolates producidos a partir de cuatro diferentes cultivares de cacao. La formulación tuvo pasta de cacao (67%), manteca de cacao (26.6 %), azúcar refinada (26 %) y lecitina de soya (0.4 %). Los valores de esfuerzos mínimos de fluencia fueron: Convencional (6.64 Pa), SR162 (5.41 Pa) y PH16 (20.91 Pa). Por consiguiente, en el presente estudio los siguientes tratamientos son similares: S1C2, S1C3, S2C2 y S3C2.

Flores y otros (2017) reportaron valores de esfuerzos mínimos de fluencia de una cobertura sabor a chocolate con sustitución de manteca de cacao por grasa de almendra de mango/oleína de palma, con 8.60 Pa para el control sin sustitución de manteca de cacao y en un rango de 1.62 a 15.81 Pa para los otros tratamientos. Comparados con las evidencias anteriores, los valores de esfuerzo mínimo de fluencia de todos los tratamientos de la presente investigación, incluyendo el control (14.82 Pa), con solo la excepción del tratamiento S1C2 (18.02 Pa), se encuentran dentro del rango de los resultados reportados.

Fernades y otros (2013) investigaron el comportamiento reológico de las muestras de chocolate que contenían el 60, 70 y el 75% de una base de cacao (BC), constituida por el 90% de la cepa de cacao y el 10% de la manteca de cacao. Las pruebas se realizaron en cuatro temperaturas diferentes: 35, 40, 45 y 50 °C. A la temperatura de 40 °C, los resultados para el valor mínimo de fluencia en la muestra de chocolate conteniendo el

60% de la BC fue de 10.62 Pa; para la muestra que contenía el 70% de la BC fue de 5.10 Pa y para la muestra que contenía el 75% de la BC fue de 2.47 Pa. Estos resultados son correspondientes a los esfuerzos mínimos de fluencia de los tratamientos: S1C1 (3.43 Pa), S2C1 (10.55 Pa), S3C1 (4.59 Pa) y S3C3 (5.71 Pa).

Bahari y Akoh (2018) elaboraron chocolates hechos de equivalente de manteca de cacao sintetizado a partir de manteca de illipe y fracción media de palma, investigando su textura, reología y afloración de grasa. La formulación DIB con pasta de cacao (40 g), manteca de illipe (12 g), azúcar (47.5 g) y lecitina de soya (0.5 g) mostró resultados de esfuerzo mínimo de fluencia comprendidos entre 9.8 a 23.84 Pa. Los resultados de la presente investigación tienen siete tratamientos, incluyendo el control, que están dentro del rango reportado, mientras que los tratamientos S1C1, S3C1 y S3C3 tienen valores menores de esfuerzo mínimo de fluencia.

Biswas y otros (2017) elaboraron chocolates con sustitutos de manteca de cacao (CBE) y obtuvieron resultados para el esfuerzo mínimo de fluencia de 15 Pa en la formulación control. La formulación con aceite de palma (20 g) obtuvo 12.2 Pa en esfuerzo mínimo de fluencia. En la presente investigación el control obtuvo un resultado de 14.52 Pa y el tratamiento S3C2 (9% de extracto de yacón y 0.25% de lecitina) un resultado de 15.16 Pa.

Karnjanolarn y McCarthy (2006) estudiaron la reología de diferentes formulaciones de chocolate con leche, variando las concentraciones del emulsificante lecitina de soya. En la formulación que contenía el 0.4% del emulsificante, para la molienda gruesa (mayor tamaño de la partícula), el esfuerzo mínimo de fluencia fue de 4.19 Pa. Para el chocolate producido con molienda fina (menor tamaño de partícula) el esfuerzo mínimo de fluencia fue de 10.4 Pa cercanos a los resultados de esfuerzos mínimos de

fluencia de los tratamientos: S2C1 (7% de extracto de yacón y 0.10% de lecitina) y S3C1 (9% de extracto de yacón y 0.10% de lecitina).

Vissotto y otros (2005) analizaron las características físico-químicas y la reología de coberturas de chocolates comerciales elaborados con grasas alternativas; siendo estudiadas cuatro marcas de chocolate medio amargo. Los resultados para los esfuerzos mínimos de fluencia dieron un rango de 7.11 Pa a 13.95 Pa. Comparando con los resultados siendo semejantes a los tratamientos con 7% de extracto concentrado de yacón de la presente investigación con valores de 10.55 a 13.61 Pa.

En el Cuadro 12 se presenta la prueba de Levene para el esfuerzo mínimo de fluencia, que muestra que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el Análisis de Varianza y, posteriormente, la Prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

En el Cuadro 13, se presenta los resultados del Análisis de Varianza para los esfuerzos mínimos de fluencia de las coberturas de chocolate con sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya.

Cuadro 12. Prueba de Levene para el esfuerzo mínimo de fluencia en coberturas de chocolate en extracto de yacón y lecitina

Variable	Estadístico de Levene	p
Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)	0.880	0.552

Cuadro 13. Análisis de varianza para el esfuerzo mínimo de fluencia en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Yacón: Y	77.920	2	38.961	5.510	0.014
Lecitina: L	398.630	2	199.313	28.170	0.000
Y*L	173.150	4	43.287	6.120	0.003
Error	127.350	18	7.075		
Total	777.040	26			

El análisis de varianza indica que la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón, la adición de lecitina de soya y la interacción yacón-lecitina presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el esfuerzo mínimo de fluencia.

En el Cuadro 14 se muestra los resultados de la prueba de Duncan para el esfuerzo mínimo de fluencia en las coberturas de chocolate con sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya. La prueba de Duncan muestra que el control, con un esfuerzo mínimo de fluencia de 14.52 Pa, se encuentra en los subgrupos 2 y 3.

Un valor bajo de valor mínimo de fluencia es necesario para moldear, especialmente cuando hay inclusiones, para que con la sacudida se eliminen satisfactoriamente las bolsas de aire. Asimismo, un valor alto de valor mínimo de fluencia es necesario para el bañado, para evitar que las decoraciones colapsen y la formación de pies en la parte inferior de la pieza, para que el chocolate fluya sobre la pieza y no se quede en el centro (Stauffer, 1998 citado por Flores, 2014).

Cuadro 14. Prueba de Duncan para el esfuerzo mínimo de fluencia en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Código	Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (%)	Adición de lecitina de soya (%)	Subgrupo		
			1	2	3
S1C1	5	0.10	3.43		
S3C1	9	0.10	4.59		
S3C3	9	0.50	5.71		
S2C1	7	0.10		10.55	
S2C3	7	0.50		12.00	
S2C2	7	0.25		13.61	13.61
S0		Control		14.52	14.52
S1C3	5	0.50		14.95	14.95
S3C2	9	0.25		15.16	15.16
S1C2	5	0.25			18.02

El tratamiento S3C2 (9% de extracto de yacón y 0.25% de lecitina de soya) con un esfuerzo mínimo de fluencia de 15.16 Pa obtiene un valor apropiado para la cobertura de chocolate.

4.4. Efecto de la sustitución de manteca de cacao por extracto de yacón y lecitina sobre la firmeza en coberturas de chocolate

En el Anexo 5 se presenta los resultados obtenidos para la Firmeza con la prueba de penetración en sus dos lecturas de profundidad (2 mm y 4 mm) utilizando el Texturometro Instron con un sensor de punción.

La firmeza describe la rigidez del chocolate y está directamente relacionada con la percepción sensorial durante el consumo, que depende de la transición de fase, o fusión, que ocurre en la boca. En los chocolates son deseables los mejores valores de resistencia a la rotura porque proporcionan una sensación apropiada en la boca, durabilidad contra daños térmicos y físicos, adecuado comportamiento de fusión y el brillo externo (Vissotto, 2005; Afoakwa, 2009a; Shah, 2010 citados por Rezende y otros, 2015).

La firmeza es uno de los atributos de textura que se deriva de la microestructura cristalina establecida y, por lo tanto, está influenciada no solo por la composición, sino también por las condiciones de procesamiento, especialmente el atemperado y el polimorfismo de la fase lipídica cristalizada. El atemperado adecuado promueve la dureza, el brillo y la durabilidad contra el daño físico y térmico. Debido a esta interdependencia, es un desafío el desarrollo de formulaciones de chocolate que atraigan a los consumidores que buscan reducir el azúcar, la grasa y las calorías, mientras mantienen la calidad y el sabor (Afoakwa, 2008; Lee, 2009, citados por Rezende y otros, 2015).

La Figura 10 presenta los valores experimentales para la firmeza por punción de las tabletas de coberturas de chocolate con extracto concentrado de yacón y lecitina de soya, obtenidos a 2 mm de profundidad de avance del sensor (firmeza-2mm) durante el desarrollo de la prueba. La

muestra control presentó una firmeza-2mm de 44.51 N, asignando resultados cercanos en las coberturas de 5% de extracto concentrado de yacón y 0.25% lecitina de soya (S1C2) con un valor de 43.31 N y con 9% de extracto concentrado de yacón con 0.10 y 0.25% de lecitina de soya (S3C1 y S3C2) con valores de 34.76 y 39.74 N respectivamente.

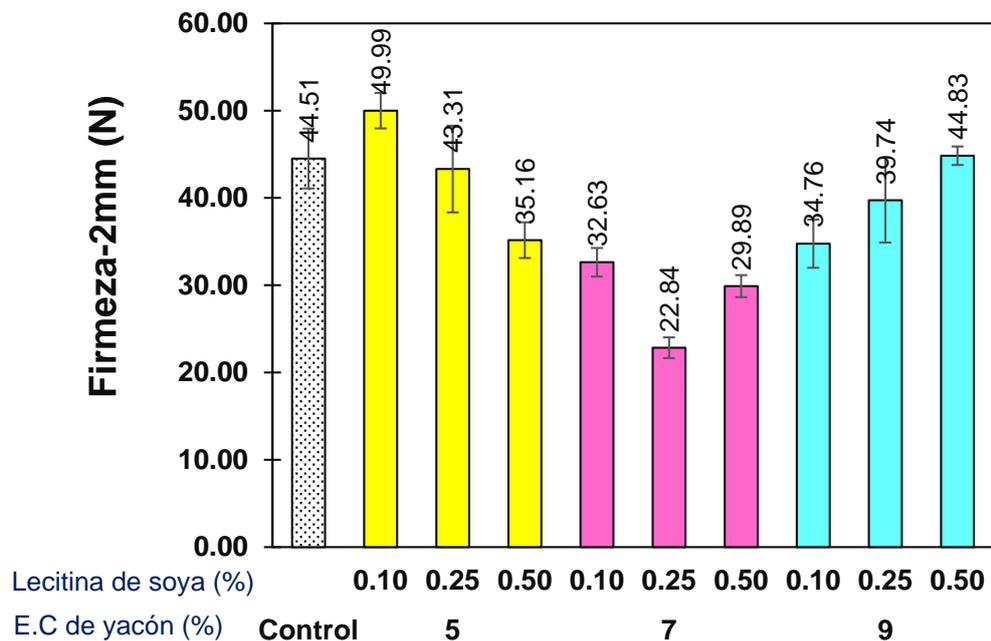


Figura 10. Firmeza-2 mm en las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Para los consumidores el mayor indicativo de calidad en el chocolate es la textura, superficial e interna. La textura deseable tiene relación con un grano fino y de superficie lisa y brillante que resulta de la cristalización muy específica de triglicéridos durante el atemperado de la manteca de cacao. Los defectos notables en la textura cuando no se produce este patrón de cristalización, por ejemplo, cuando se introducen otras grasas, ya sea como ingredientes directos o en la migración de inclusiones, alteran la cristalización y los patrones de fusión. Aún más evidente son los defectos

que surgen de la reorganización de las formas cristalinas (Rossi-Olson, 2011 citado por Flores, 2014).

La Figura 11 muestra los valores experimentales para la firmeza de las tabletas de cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina de soya, obtenidos a 4mm de profundidad (firmeza-4mm). El control presentó una firmeza-4mm de 44.19 N, siendo cercanos a los tratamientos para las coberturas de 5% de extracto concentrado de yacón y 0.25% lecitina de soya (S1C2) con un valor de 42.22 N y con 9% de extracto concentrado de yacón y 0.25% lecitina de soya (S3C2) con un valor de 40.33 N.

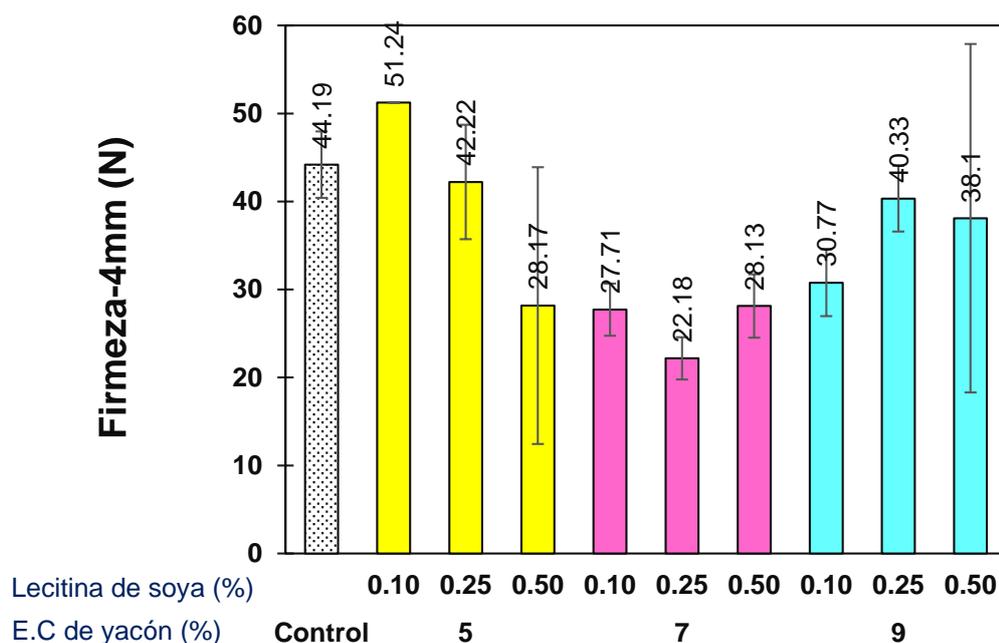


Figura 11. Firmeza-4 mm en las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Rezende y otros (2015) han encontrado que los chocolates con fibra añadida (concentrado de inulina o β -glucano) presentan valores de dureza más bajos que los chocolates sin adición correspondientes a la formulación de control. En la presente investigación, para las lecturas de firmeza por

punción, expresadas como fuerza de penetración a 2 mm y 4 mm de profundidad del sensor, se nota que los tratamientos S2C1, S2C2 y S2C3 tienen los valores más bajos de firmeza, los que son menores que las fuerzas de firmeza del control; sin embargo S1C1 presentan valores de fuerza de firmeza por penetración a 2 mm y a 4 mm marcadamente mayores que el control.

Las propiedades reológicas tienen una influencia directa en la textura. Los chocolates más duros se obtienen cuando el producto fundido presenta una viscosidad plástica más baja, y cuando aumenta la viscosidad, el producto final se volverá más blando (Rezende, 2014). En esta investigación el valor mínimo de viscosidad plástica fue para el tratamiento S3C3 (0.32 Pa.s), el que presenta valores de firmeza-2mm de 44.83 N y a 4-mm de profundidad de 38.1 N; el tratamiento S1C1 obtuvo el segundo valor más bajo para viscosidad plástica (0.45 Pa.s) y los valores más altos de firmeza-2mm (49.99 N) y de firmeza-4mm (51.24 N). El tratamiento S1C2 obtuvo el tercer valor más bajo de viscosidad plástica (0.86 Pa.s) y valores de firmeza-2mm de 43.31 N y de firmeza-4 mm de 42.22 N. Se puede afirmar que los tratamientos con valores más bajos de viscosidad plástica de las tabletas de cobertura de chocolate con concentrado de yacón y lecitina de soya, tienen una dureza mayor, expresada como fuerza de penetración, corroborando lo hallado por Rezende (2014). Raciocinio similar se puede realizar al analizar los resultados para viscosidad plástica mayores de las coberturas fundidas y compararlos con los de menor firmeza de las tabletas de cobertura.

Alvis y otros (2010) elaboraron 7 producciones diferentes de tabletas de chocolate con distintas formulaciones (chocolate blanco, chocolate con leche y chocolate amargo), que incluían entre sus ingredientes a licor de cacao, manteca de cacao, leche entera y descremada en polvo, azúcar refinada, vainilla como aromatizante y lecitina de soya como emulsionante y estabilizante para mejorar la textura. Utilizaron la prueba de penetración

uniaxial con un cono $\alpha = 30^\circ$, sobre el centro de la pieza, a la velocidad de sensor de 1.6 mm/s, hasta una profundidad de 6.5 mm, tomando lecturas de fuerza de penetración a 2 y a 4 mm de profundidad. El chocolate amargo presentó una firmeza-2mm de 15 N y de 38.3 N a una lectura de fuerza de penetración de 4mm. Estos valores, aunque no son completamente comparables, por las diferencias entre los sensores de las pruebas, se encuentran dentro del rango de los valores experimentales obtenidos en la presente investigación.

El Cuadro 15, muestra los resultados de la aplicación de la prueba de Levene para los valores de firmeza-2 mm y firmeza-4 mm, mostrando que existe homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y, posteriormente, aplicar la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 15. Prueba de Levene para la firmeza en las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Variable	Estadístico de Levene	p
Firmeza - 2 mm (N)	0.510	0.836
Firmeza - 4 mm (N)	0.660	0.721

En el Cuadro 16, se presenta el Análisis de Varianza para la firmeza con lectura de 2 mm de profundidad en una cobertura de chocolate con sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya.

El Análisis de varianza indica que la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón, la adición de lecitina de soya y la interacción yacón-lecitina presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la firmeza-2 mm.

Cuadro 16. Análisis de varianza para la firmeza-2 mm en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Yacón: Y	1031.288	2	515.644	65.282	0.000
Lecitina: L	68.150	2	34.075	4.314	0.029
Y*L	568.278	4	142.069	17.986	0.000
Error	142.177	18	7.899		
Total	1809.892	26			

El Cuadro 17, muestra el Análisis de varianza para la firmeza-4 mm en una cobertura de chocolate con sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya. El Análisis de varianza indica que solamente la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la firmeza-4 mm.

Cuadro 17. Análisis de varianza para la firmeza-4 mm en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Yacón: Y	1008.832	2	504.416	6.157	0.009
Lecitina: L	122.788	2	61.394	0.749	0.487
Y*L	904.344	4	226.086	2.760	0.060
Error	1474.709	18	81.928		
Total	3510.672	26			

Jorge (1999), citado por Alvis y otros (2010), utilizando el Texturometro Universal Instron encontró que, tanto para la fuerza de fractura como para la fuerza de penetración a 2 y a 4 mm de profundidad, hay diferencia significativa $p < 0.05$ entre los valores obtenidos para las tabletas de chocolate amargo, blanco y con leche; seguidos, con valores menores, por

los que contienen grasa láctea, dadas las características de cristalización del sistema graso que los forman.

En el Cuadro 18, se presenta la prueba de Duncan para la firmeza-2 mm de las tabletas de cobertura de chocolate con sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya. Se ubican en el subgrupo 4 al control con firmeza-2mm de 44.51 N, junto con los tratamientos con 9% de extracto de yacón y 0.25 y 0.5% de lecitina y el de 5% de extracto de yacón con 0.25% de lecitina, con valores de 39.74, 44.83 y 43.31 N, respectivamente.

Cuadro 18. Prueba de Duncan para la firmeza-2 mm en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Código	Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (%)	Adición de lecitina de soya (%)	Subgrupo					
			1	2	3	4	5	
S2C2	7	0.25	22.84					
S2C3	7	0.50		29.89				
S2C1	7	0.10		32.63				
S3C1	9	0.10		34.76	34.76			
S1C3	5	0.50		35.16	35.16			
S3C2	9	0.25			39.74	39.74		
S1C2	5	0.25					43.31	
S0		Control					44.51	
S3C3	9	0.50					44.83	
S1C1	5	0.10						49.99

Todos los tratamientos de este subgrupo no tienen diferencias significativas entre ellos, por lo que son estadísticamente iguales, incluyendo entre ellos al control.

En el Cuadro 19 se presenta los resultados de la aplicación de la prueba de Duncan para los valores experimentales de la firmeza-4 mm. Se tiene

en los subgrupos 2 y 3 a el control (44.19 N). Siendo estadísticamente iguales.

La firmeza-4mm del tratamiento S3C2 (40.33 N) no se diferencia estadísticamente de la del control (44.19 N). La tableta S3C2 obtiene el valor adecuado de firmeza-4mm para la cobertura de chocolate investigada.

Cuadro 19. Prueba de Duncan para la firmeza-4 mm en coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Código	Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (%)	Adición de lecitina de soya (%)	Subgrupo		
			1	2	3
S2C2	7	0.25	22.18		
S2C1	7	0.10	27.71	27.71	
S2C3	7	0.50	28.13	28.13	
S1C3	5	0.50	28.17	28.17	
S3C1	9	0.10	30.77	30.77	
S3C3	9	0.50	38.05	38.05	38.05
S3C2	9	0.25		40.33	40.33
S1C2	5	0.25		42.22	42.22
S0		Control		44.19	44.19
S1C1	5	0.10			51.24

Comparando los rangos de los valores obtenidos para la firmeza-2 mm (22.84 – 49.99 N) con el de la firmeza-4 mm (22.18 – 51.24 N) se observa que las firmezas a las dos medidas tienen valores de rango muy parecidos; siendo diferente solo el máximo valor de 51.2 N (firmeza-4mm) comparado con 49.99 (firmeza-2 mm). En ambas determinaciones de fuerza, a la penetración, el tratamiento S3C2 (9% extracto de yacón y 0.25% de lecitina) no se diferencia estadísticamente del control.

En esta investigación se sustituyó parcialmente la manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (5, 7 y 9%) y se adicionó lecitina de soya (0.10, 0.25 y 0.5%). Se obtuvo una firmeza-2mm de 44.51 N en la tableta del tratamiento de control y de 49.99 N para el mayor valor del tratamiento S1C1; para la firmeza-4mm se obtuvo 44.19 N en la tableta del tratamiento de control y de 51.24 N para el mayor valor del tratamiento S1C1. Estos resultados indican que las tabletas de coberturas de chocolate con extractos de yacón y lecitina de soya, tienen la dureza, expresada como firmeza a la fuerza de penetración, dentro del rango que debe tener cualquier chocolate para proporcionar propiedades reológicas que promueven la dureza adecuada, la sensación y la deglución en la boca. El tratamiento S3C2 no se diferencia estadísticamente del control en ambas determinaciones de fuerza. El tratamiento S3C2 para la firmeza-2mm obtuvo 39.74 N y para la firmeza-4mm obtuvo 40.33 N.

4.5. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya sobre la aceptabilidad general en coberturas de chocolate

Los valores obtenidos para la evaluación de la aceptabilidad general de las de las coberturas por los 40 jueces que evaluaron 05 muestras cada uno de ellos, se presentan en el Anexo 7. Los resultados muestran que todas las tabletas de cobertura de chocolate con concentrado de yacón y lecitina fueron evaluadas con una calificación alta por los participantes, siendo la mayoría de estas calificaciones de las categorías de “Me gusta”, “Me gusta mucho” y “Me gusta muchísimo”.

La Figura 12 muestra que el control presentó un valor de aceptabilidad general promedio de 7.04; el tratamiento con mayor valor (7.81) correspondió al tratamiento S3C2 (9% extracto concentrado de yacón y 0.25% lecitina de soya) para las coberturas de chocolate.

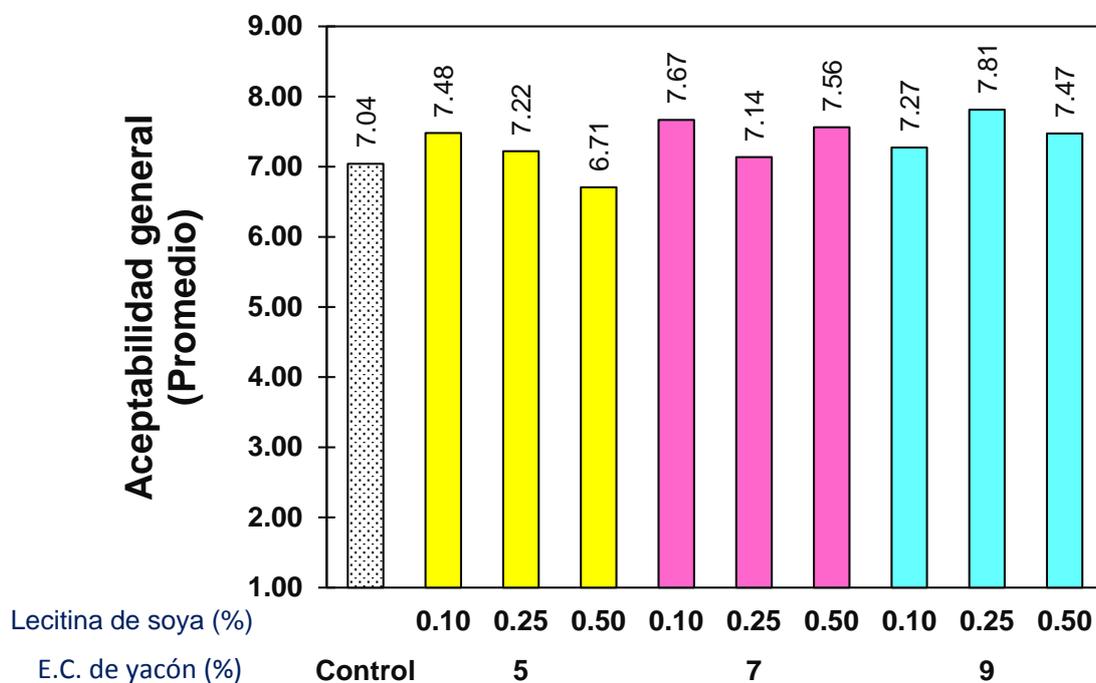


Figura 12. Aceptabilidad general para las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

En el Cuadro 20, los resultados de la prueba de Skillings-Mack indican que las muestras de cobertura de chocolate con sustitución de manteca de cacao por extracto de yacón y adición de lecitina de soya, no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la aceptabilidad general. Sin embargo, la cobertura de chocolate con extracto de yacón al 9% y lecitina con 0.25% presentó el mayor promedio de 7.81 con una moda de 8 (“Me gusta mucho”); que corresponde al máximo de extracto concentrado de yacón y al valor medio de adición de lecitina de soya investigados.

Cuadro 20. Prueba de Skillings – Mack para la aceptabilidad general de las coberturas de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Código	Sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón (%)	Adición de lecitina de soya (%)	Promedio	Moda	Skilling-Mack	p
S0	Control		7.04	8		
S1C1	5	0.10	7.48	8		
S1C2	5	0.25	7.22	9		
S1C3	5	0.50	6.71	7		
S2C1	7	0.10	7.67	8	5.198	0.817
S2C2	7	0.25	7.14	7		
S2C3	7	0.50	7.56	7		
S3C1	9	0.10	7.27	9		
S3C2	9	0.25	7.81	8		
S3C3	9	0.50	7.47	9		

Los resultados de la prueba de aceptabilidad, entre “Me gusta” (6) y “Me gusta muchísimo” (9) indican una buena aceptación de los productos yacón–chocolate, que coinciden con lo encontrado por Arango y otros (2016) quienes elaboraron rodajas de yacón liofilizadas bañadas con chocolate, tabletas con yacón liofilizado en trozos, bombones con jarabe de yacón sin filtrar, bombones con jarabe de yacón filtrado y jalea de yacón bañada con chocolate. Todas las muestras fueron evaluadas por los jueces con calificativos de “Me gusta mucho” y “Me gusta moderadamente”, siendo la categoría “Me gusta moderadamente” la calificación más repetida en todos los productos.

Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación no tienen diferencias significativas entre las evaluaciones de los panelistas, al usar extractos concentrados entre 5 y 9%, y no coinciden con los encontrados por Lončarević y otros (2018), quienes elaboraron coberturas de chocolate blanco con jugos de mora en polvo, con adiciones entre 6 y 10%, percibiendo los panelistas mayor sabor a mora, entre 3.6 y 5.2 sobre un

total de 7, mostrando diferencias significativas con el control. La diferencia entre la aceptabilidad general obtenida en estas dos investigaciones, se explica por la mayor cantidad de fruta en polvo que se adiciona al chocolate, comparada con la del extracto concentrado de yacón, ambas en base seca, y por la mayor intensidad del sabor de la mora en el chocolate blanco.

No se han encontrado investigaciones sobre el uso de jugos, concentrados de frutas o extractos vegetales, en la elaboración de chocolates o coberturas de chocolate, existiendo, más bien, información sobre recomendaciones para usar ingredientes en polvo, con adecuado bajo contenido de agua, como, por ejemplo, en el caso de la leche en polvo en chocolates blancos (Lončarević y otros, 2018).

V. CONCLUSIONES

La sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón, la adición de lecitina de soya y su interacción (yacón*lecitina) presentaron efecto significativo sobre L^* , a^* , el esfuerzo mínimo de fluencia y la firmeza-2mm. La adición de lecitina de soya y la interacción (yacón*lecitina) presentaron efecto significativo en b^* . La sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la interacción (yacón*lecitina) presentaron efecto significativo en la viscosidad plástica. La firmeza-4mm solo presentó diferencias significativas por efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por extracto concentrado de yacón.

No hubo efecto significativo sobre la aceptabilidad general de las tabletas de cobertura de chocolate por efecto de la sustitución parcial de la manteca de cacao por extracto concentrado de yacón y la adición de lecitina de soya.

La sustitución parcial de manteca de cacao por 9% de extracto concentrado de yacón con 0.25 % de adición de lecitina de soya, presentó los valores más adecuados para L^* (24.58), a^* (10.51), b^* (8.55), viscosidad plástica de Casson (0.98 Pa.s), esfuerzo mínimo de fluencia de Casson (15.16 Pa), firmeza-2 mm de 39.74 N, firmeza-4 mm de 40.33 N, y el mayor promedio (7.81) y moda (8, para "Me gusta mucho") de aceptabilidad general.

VI. RECOMENDACIONES

Evaluar experimentalmente sustituciones parciales de manteca de cacao con concentraciones mayores al 9% de extracto concentrado de yacón.

Incluir la evaluación de Índice de Brillo (IB), eflorescencia de grasa, características de la cristalización, en las investigaciones sobre sustitución parcial de manteca de cacao en coberturas de chocolate.

Investigar sobre el tiempo de vida útil de las coberturas de chocolate con extracto concentrado de yacón y lecitina.

Evaluar el efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por inulina en coberturas de chocolate.

Investigar la elaboración de coberturas de chocolate o chocolates con extracto de yacón y leche.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Afoakwa, E., Paterson, A. y Fowler, M. 2007. Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate. A Review. Trends in Food Science & Technology, 18:290-298.

Alvarado, J. y Aguilera, J. 2001. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.

Alvis, A., Pérez, L. y Arrazola, G. 2011. Determinación de las propiedades de textura de tabletas de chocolate mediante técnicas instrumentales. Información Tecnológica, 22(3):11-18. Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias Agrícolas. Córdoba, Colombia.

Arango, L., Ferreira, M., Díaz, Y. y Ferro, C. 2016. Aprovechamiento de las características funcionales del yacón (*Smallanthus sonchifolius* P.) en chocolates sin azúcar añadido. Agronomía Colombiana 34(1Supl.): S1284-S1287.

Badui, S. 2006. Química de alimentos. Cuarta Edición. Pearson Educación. México.

Bahari, A. y Akoh, C. 2018. Texture, rheology and fat bloom study of chocolates made from cocoa butter equivalent synthesized from illipe butter and palm mid-fraction. LWT - Food Science and Technology, 97:349-354.

Beckett, S. 1994. Fabricación y utilización industrial del chocolate. Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España.

Beckett, S. 2002. La ciencia del chocolate. Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España.

Biswas, N., Cheow, Y., Tan, C. y Siow, L. 2017. Physical, rheological and sensorial properties, and bloom formation of dark chocolate made with cocoa butter substitute (CBS). *LWT - Food Science and Technology*, 82:420–428.

Borda, M. 2011. Formulación de una base para aderezo de ensaladas con características de alimento funcional. Tesis para obtener el grado de Maestría en Tecnología de Alimentos. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

Brookfield. 2010. Brookfield Digital Rheometer. MODEL DV-III. Operating Instructions Manual No. M/91-210-I297. USA.

Campos, D., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., Noratto, G. y Pedreschi, R. 2012. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. *Food Chemistry*, 135:1592–1599.

Chatfield, M. y Mander, A. 2009. The Skillings–Mack test (Friedman test when there are missing data). Medical Research Council. Human Nutrition Research. Cambridge, United Kingdom.

Chire, G. 2001. Mejoramiento de chocolate para taza amargo mediante el uso de licor de cacao. Tesis para obtener el grado de Magister en Ciencia de los Alimentos en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú.

Chire, G. y Hartel, R. 2011. Efectos de diferentes emulsificantes en el atemperado de chocolate oscuro. *Ciencia e Investigación*, 13(1):14-18.

Cho, S., Prosky, L. y Dreher, M. 2005. Complex carbohydrates in foods. Taylor & Francis e-Library. USA.

CODEX STAN 87-1981, Rev.1. 2003. Norma del CODEX para el chocolate y los productos del chocolate. Perú.

Da Cunha, K., Quast, L. y Luccas, V. 2010. Influência da adição de lecitina de soja e dopoliglicerol poliricinolato nas propriedades reológicas do chocolate. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, Curitiba, 28 (2):321-330.

Depoortere, L. 2011. Uso y aplicabilidad de los equivalentes de manteca de cacao (CBE) en productos de chocolate. Tesis de maestría nominada para obtener el grado de Maestro de Ingeniería de Biociencias. Universiteit Gent. Gante, Bélgica.

Egan, H., Kirk, R y Sawyer, R. 1993. Análisis Químico de Alimentos de Pearson. Quinta Reimpresión. Compañía Editorial Continental SA. México DF. México.

Fernandes, V., Müller, A y Sandoval, A. 2013. Thermal, structural and rheological characteristics of dark chocolate with different compositions. Journal of Food Engineering, 116(1):97-108.

Flores, N. 2014. Efecto de la sustitución parcial de manteca de cacao por grasa de almendra de mango/oleína de palma sobre las propiedades físicas y aceptabilidad general de cobertura sabor a chocolate. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Flores, N., Chire, G. y Lescano, C. 2017. Rheological, fat bloom, and sensory acceptability effects of mango kernel fat and palm olein blends on chocolate-flavored coatings. *Acta Agronómica*, 66 (4):506-511.

Gacula, M. y Singh, J. 2013. *Statistical methods in food and consumer research*. Academic Press, Inc. Second Edition. United States of America.

García, P., Bretón, I., De la Cuerda, C. y Camblor, M. 2002. Metabolismo colónico de la fibra. *Nutr. Hosp.*, 17:11-16.

Giese J. 1996. Fats, oils, and fat replacers. *Food Technol*, 50(4):78-84.

Gil, A. 2010. *Tratado de Nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos*. Segunda Edición. Editorial Médica Panamericana.

Gómez, H. 2010. *Diseño de bloques incompletos*. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú.

Gózales, J. 2006. *Diseños de bloques incompletos y aplicaciones en la industria*. Monografía para obtener título de Ingeniero Industrial. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México.

Grau, A y Rea, J. 1997. Yacon *Smallanthus sonchifolius*. In: Hermann, M; Heller (Eds.), *Andean Root and Tubers: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon*. IPGRI, Rome. 199–240.

Disponible en: <http://www.cipotato.org/market/ARTChermann/yacon.pdf>.

Halimatun, S., Jinap, S., Seyed, H., Norhayati H. 2018. Preferencia sensorial y estabilidad de la floración del chocolate que contiene sustituto de la manteca de cacao del aceite de coco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 1-6.

IOCCC. 2000. Viscosity of chocolate and chocolate products. International Office of Cocoa, Chocolate and Sugar Confectionery. Analytical method: 46.

Karnjanolarn, R. y McCarthy, K. 2006. Reología de diferentes formulaciones de chocolate con leche y el efecto sobre el espesor del recubrimiento. *Journal of Texture Studies*, New York, 36: 668-680.

Konar, N., Omer, S., Sirin, O. y Osman, S. 2016. Improving functionality of chocolate: A review on probiotic, prebiotic, and/or synbiotic characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, 49:35-44.

Konica Minolta. 2018. Control de Color en la Industria Alimenticia: Control del Color del Chocolate. Konica Minolta Sensing. Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/learning-center/white-papers/control-del-color-del-chocolate/>

Leite, P., Caetano, S., Rodríguez, A., Martini, F, Smith, E. y Da Silva, O. 2013. Estudio reológico de chocolates elaborados con diferentes cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Braz. J. Food Technology*, 16 (3):192-197.

Leiva, S., Zapata, M. y Dillon, M. 2013. Siete especies de plantas vasculares de importancia económica en el Perú: Fichas botánicas. *Arnaldoa*, 20(2):405-414. *Revista del Museo de Historia Natural y Cultural*. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Lončarević, I., Pajin, B., Fišteš, A., Tumbas, V., Petrović, J., Jovanović, P., Vulić, J. y Zarić, D. 2018. Enrichment of white chocolate with blackberry juice encapsulate: Impact on physical properties, sensory characteristics and polyphenol content. *LWT - Food Science and Technology*, 92: 458-464.

Mendiburo, F. 2014. Manual práctico para el uso de Agricolae. Facultad de Economía y Planificación. Departamento de Estadística e Informática. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Montgomery, D. 2004. Diseño y análisis de experimentos. Segunda Edición. Universidad Estatal de Arizona. Editorial Limusa S.A. México.

Muñoz, F. 2014. Efecto de la cocción y de la concentración de ají amarillo en el líquido de gobierno sobre las características sensoriales en conservas de recortes de filetes de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en salsa tipo escabeche. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Popov-Raljić J., Mastilović, J., Laličić-Petronijević, J., Kevrešan, Z y Demin, M. 2013. Sensory and color properties of dietary cookies with different fiber sources during 180 days of storage. Hem. Ind., 67(1):123-134.

Rajender, P. 2012. Non-parametric methods in analysis of experimental data.

Rezende, N., Benassi, M., Visotto, F., Augusto, P. y Grossman, F. 2015. Effects of fat replacement and fibre addition on the texture, sensory acceptance and structure of sucrose-free chocolate. International Journal of Food Science & Technology, 50(6):1413-1420.

Rezende, N., Benassi, M., Vissotto, F., Augusto, P. y Grossmann, M. 2015. Mixture design applied for the partial replacement of fat with fibre in sucrose-free chocolates. LWT-Food Science and Technology, 62:598-604.

Rodríguez, A. y Vásquez, R. 2009. Efecto de la temperatura y tiempo de concentración al vacío sobre el pardeamiento y contenido de azúcares y oligofruktanos en extracto de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Pueblo Continente, 20(1):185-191. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Servais, C., Jones, R y Roberts, I. 2002. The influence of particle size distribution on the processing of food. Journal of Food Engineering. 51(3): 201-208.

SIICEX. 2012. Record de exportaciones 2011. Perfil del producto: Mercado del yacón en Estados Unidos. Disponible en: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/alertas/documento/doc/747142775rad08b8c.pdf>

Skillings, J. y Mack, G. 1981. On the Use of a Friedman-Type Statistic in balanced and unbalanced block designs. Technometrics, 23 (2):171-177.

Steiner, E. 1958. A new rheological relationship to express the flow properties of melted chocolate. Rev. Intern. Chocolat 13: 290.

Torbica, A., Pajin, B., Omorjan, R., Lončarević, I. y Tomić, J. 2014. Physical properties of chocolate with addition of cocoa butter equivalent of moderate hardness. Journal of the American Oil Chemists Society, 91:39–48.

Ureña, M., D´Arrigo, M. y Girón, O. 1999. Evaluación Sensorial de los Alimentos Didáctica. Editorial Agraria. Lima, Perú.

Vissotto, F., Gomes, C. y Batista, B. 2005. Caracterización del comportamiento reológico y de la textura de chocolates sin sacarosa. Brazilian Journal of Food Technology, 8:107–111.

Yi, A. 2017. Importancia del proceso de temperado en la elaboración del chocolate a nivel industrial. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Valores experimentales del color L*, a* y b* en la cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Tratamientos	Extracto concentrado de yacón (%)	Lecitina de soya (%)	L*	a*	b*	
S0		Control	26.46	10.62	8.34	
			25.72	11.48	9.29	
			25.60	11.17	9.19	
			Promedio	25.93	11.09	8.94
			Desviación estándar	0.47	0.44	0.52
S1C1	5	0.10	25.70	11.59	9.42	
			26.26	11.09	9.04	
			25.45	11.71	9.85	
			Promedio	25.80	11.46	9.44
			Desviación estándar	0.41	0.33	0.41
S1C2	5	0.25	25.59	10.94	8.84	
			25.40	11.37	9.12	
			24.61	11.71	9.44	
			Promedio	25.20	11.34	9.13
			Desviación estándar	0.52	0.39	0.30
S1C3	5	0.50	23.32	12.40	10.77	
			23.49	12.77	10.95	
			24.28	12.05	9.94	
			Promedio	23.70	12.41	10.55
			Desviación estándar	0.51	0.36	0.54
S2C1	7	0.10	25.64	11.32	9.53	
			25.94	11.19	9.47	
			25.05	12.09	11.16	
			Promedio	25.54	11.53	10.05
			Desviación estándar	0.45	0.49	0.96
S2C2	7	0.25	26.01	11.55	10.12	
			26.47	11.31	9.49	
			26.26	11.18	9.45	
			Promedio	26.25	11.35	9.69
			Desviación estándar	0.23	0.19	0.38
S2C3	7	0.50	25.16	10.88	8.99	
			25.36	10.69	8.93	
			24.87	10.82	8.75	
			Promedio	25.13	10.80	8.89
			Desviación estándar	0.25	0.10	0.12
S3C1	9	0.10	25.76	11.82	10.81	
			25.69	11.30	10.20	
			26.02	11.49	10.37	
			Promedio	25.82	11.54	10.46
			Desviación estándar	0.17	0.26	0.31
S3C2	9	0.25	24.76	10.49	8.33	
			24.62	10.12	7.75	
			24.36	10.92	9.57	
			Promedio	24.58	10.51	8.55
			Desviación estándar	0.20	0.40	0.93
S3C3	9	0.50	25.40	10.67	9.12	
			26.92	10.10	8.73	
			25.30	10.97	9.68	
			Promedio	25.87	10.58	9.18
			Desviación estándar	0.91	0.44	0.48

Anexo 2. Valores experimentales de esfuerzo de corte (τ) Pa y viscosidad aparente (η) Pa. s a diferentes velocidades de corte ($\dot{\gamma}$) s^{-1} .

		$\dot{\gamma}$ (s^{-2})									
		1.70	3.40	5.10	6.80	8.50	10.20	11.90	13.60	15.30	17.00
S0	τ_1	34.85	45.82	52.79	58.91	63.41	66.98	70.81	75.14	80.41	84.83
	η_1	20.5	13.48	10.40	8.66	7.46	6.57	5.95	5.53	5.26	4.99
	τ_2	33.41	49.47	58.40	58.40	61.20	64.26	67.15	70.81	74.80	79.65
	η_2	19.7	14.6	11.5	8.59	7.2	6.3	5.64	5.21	4.89	4.69
	τ_3	30.18	41.99	50.92	59.76	63.07	66.13	68.85	72.25	76.25	81.18
	η_3	17.8	12.4	9.98	8.79	7.42	6.48	5.64	5.31	4.98	4.78
S1C1	τ_1	12.07	14.28	16.15	17.94	19.55	21.17	22.70	24.23	25.76	27.46
	η_1	7.10	4.20	3.17	2.64	2.30	2.08	1.91	1.78	1.68	1.62
	τ_2	9.18	11.31	13.09	14.71	16.32	17.85	19.38	20.91	22.44	24.06
	η_2	5.40	3.25	2.57	2.16	1.92	1.75	1.63	1.54	1.47	1.42
	τ_3	9.10	11.56	13.69	15.47	17.43	19.04	20.74	22.36	24.14	25.76
	η_3	5.35	3.40	2.68	2.28	2.05	1.87	1.74	1.64	1.58	1.52
S1C2	τ_1	35.53	41.65	47.09	51.60	54.74	57.55	59.84	62.65	65.45	66.98
	η_1	20.90	12.25	9.23	7.59	6.44	5.64	5.03	4.61	4.28	3.94
	τ_2	35.87	44.54	51.00	56.95	61.97	66.39	70.89	75.40	80.41	81.86
	η_2	21.10	13.10	10.00	8.38	7.29	6.51	5.96	5.54	5.26	4.82
	τ_3	48.37	54.66	63.33	69.19	76.25	81.77	84.83	84.83	84.83	84.83
	η_3	28.45	16.08	12.42	10.18	8.97	8.02	7.12	6.24	5.54	4.99
S1C3	τ_1	40.55	47.43	53.30	57.89	62.31	65.62	68.85	71.40	74.21	76.93
	η_1	23.85	13.95	10.45	8.51	7.33	6.43	5.79	5.25	4.85	4.53
	τ_2	27.88	32.13	35.53	38.42	41.06	43.78	46.75	49.90	53.64	57.89
	η_2	16.40	9.45	6.97	6.65	4.83	4.30	3.93	3.67	3.51	3.41
	τ_3	32.73	38.68	44.03	47.77	51.43	54.32	56.61	59.08	62.31	65.37
	η_3	19.25	11.38	8.63	7.03	6.05	5.33	4.76	4.34	4.07	3.85
S2C1	τ_1	20.66	24.57	27.63	30.69	33.41	36.13	38.51	41.14	43.44	45.99
	η_1	12.15	7.23	5.42	4.51	3.94	3.54	3.24	3.03	2.84	2.71
	τ_2	31.88	41.65	48.62	54.57	58.82	62.99	67.49	72.68	78.88	84.49
	η_2	18.75	12.25	9.53	8.03	6.92	6.18	5.67	5.34	5.16	4.97
	τ_3	31.45	44.71	50.75	54.74	58.74	63.16	68.09	73.61	79.82	84.49
	η_3	18.50	13.15	9.95	8.05	6.91	6.19	5.72	5.41	5.22	4.97
S2C2	τ_1	33.07	40.46	46.41	51.68	55.34	58.31	61.37	65.03	69.53	74.97
	η_1	19.45	11.90	9.10	7.60	6.51	5.72	5.16	4.78	4.54	4.41
	τ_2	32.47	38.08	46.50	50.92	55.59	60.27	65.11	68.77	76.33	81.77
	η_2	19.10	11.20	9.12	7.49	6.54	5.91	5.47	5.06	4.99	4.81
	τ_3	35.02	41.65	46.24	48.62	51.34	54.15	57.04	60.10	63.33	68.17
	η_3	20.6	12.25	9.07	7.15	6.04	5.31	4.79	4.42	4.14	4.01
S2C3	τ_1	33.32	39.78	46.33	50.58	55.68	59.16	61.80	65.79	69.70	74.72
	η_1	19.60	11.70	9.08	7.44	6.55	5.80	5.19	4.84	4.56	4.40
	τ_2	30.60	35.36	39.19	43.18	48.37	53.38	57.12	60.44	67.41	73.53
	η_2	18.00	10.40	7.68	6.35	5.69	5.23	4.80	4.44	4.41	4.33
	τ_3	32.90	38.76	45.73	50.32	55.00	58.23	61.20	65.54	70.89	77.52
	η_3	19.35	11.40	8.97	7.40	6.47	5.71	5.14	4.82	4.63	4.56
S3C1	τ_1	14.11	16.66	19.21	21.68	24.48	27.46	30.60	34.09	38.34	43.18
	η_1	8.30	4.90	3.77	3.19	2.88	2.69	2.57	2.51	2.51	2.54
	τ_2	18.53	21.08	24.82	28.14	31.62	33.83	36.55	39.44	42.84	46.75
	η_2	10.90	6.20	4.87	4.14	3.72	3.32	3.07	2.90	2.80	2.75
	τ_3	19.38	25.08	30.43	34.77	39.02	43.78	47.52	52.62	58.23	65.45
	η_3	11.40	7.38	5.97	5.12	4.59	4.29	3.99	3.87	3.80	3.85
S3C2	τ_1	38.51	48.20	55.85	56.78	68.26	60.61	63.16	68.34	75.57	81.77
	η_1	20.35	12.58	9.35	7.54	6.82	6.18	5.92	6.01	5.34	4.81
	τ_2	31.83	40.84	51.38	63.54	69.62	65.07	62.35	65.75	70.64	76.88
	η_2	40.85	24.05	16.03	12.03	9.62	8.02	6.87	6.01	5.34	4.81
	τ_3	25.16	33.49	46.92	70.30	70.98	69.53	61.54	63.16	65.71	72.00
	η_3	23.25	13.83	10.92	10.26	5.13	3.81	3.51	3.40	3.44	3.78
S3C3	τ_1	13.86	16.24	18.02	19.64	21.25	22.70	24.06	25.42	26.69	27.97
	η_1	8.15	4.78	3.53	2.88	2.50	2.23	2.02	1.87	1.74	1.65
	τ_2	13.43	15.64	17.51	19.21	20.66	22.19	23.55	24.99	26.27	27.63
	η_2	7.90	4.60	3.43	2.83	2.43	2.18	1.98	1.84	1.72	1.63
	τ_3	13.69	15.90	17.85	19.55	21.08	22.61	24.06	25.42	26.78	28.14
	η_3	8.05	4.68	3.50	2.88	2.48	2.22	2.02	1.87	1.75	1.66

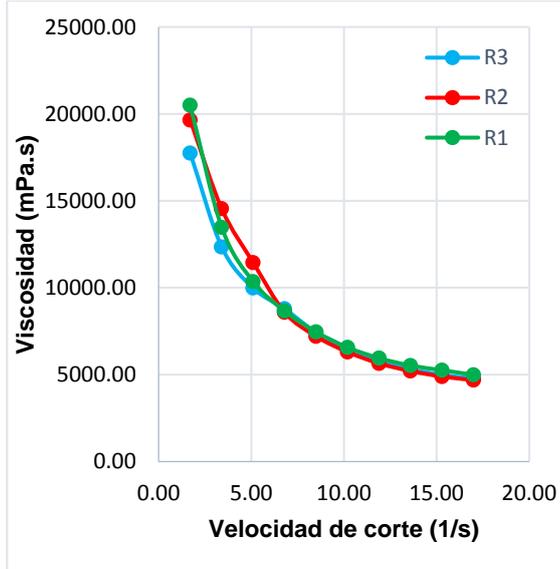
Anexo 3. Viscosidad plástica de Casson y Esfuerzo mínimo de fluencia.

Extracto concentrado de yacon (%)	Lecitina de soya (%)	Pendiente	Intercepto	η_{CA} Viscosidad plástica de Casson (Pa.s)	τ_{oCA} Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)
Control		1.11	7.54	1.23	14.23
		0.93	8.22	0.87	16.89
		1.16	7.06	1.34	12.45
Promedio				1.15	14.52
Desviación estándar				0.24	2.24
5	0.10	0.62	4.25	0.39	4.52
		0.66	3.46	0.44	2.98
		0.73	3.33	0.53	2.77
Promedio				0.45	3.43
Desviación estándar				0.07	0.96
5	0.25	0.78	8.16	0.62	16.66
		1.09	7.52	1.20	14.14
		0.88	9.65	0.77	23.28
Promedio				0.86	18.02
Desviación estándar				0.30	4.72
5	0.50	0.85	8.66	0.72	18.76
		0.80	6.75	0.63	11.38
		0.82	7.67	0.66	14.70
Promedio				0.67	14.95
Desviación estándar				0.04	3.70
7	0.10	0.79	5.65	0.63	7.98
		1.20	6.78	1.43	11.50
		1.17	6.98	1.37	12.17
Promedio				1.14	10.55
Desviación estándar				0.45	2.25
7	0.25	0.97	7.37	0.95	13.60
		1.17	6.64	1.36	11.01
		0.77	8.06	0.59	16.23
Promedio				0.97	13.61
Desviación estándar				0.39	2.61
7	0.50	0.99	7.31	0.98	13.37
		1.07	6.39	1.14	10.20
		1.04	7.05	1.08	12.42
Promedio				1.07	12.00
Desviación estándar				0.08	1.63
9	0.10	0.99	3.62	0.97	3.27
		0.90	4.85	0.81	5.88
		1.26	4.30	1.60	4.62
Promedio				1.13	4.59
Desviación estándar				0.41	1.30
9	0.25	0.86	8.58	0.74	18.39
		0.98	7.80	0.95	15.20
		1.11	6.90	1.24	11.90
Promedio				0.98	15.16
Desviación estándar				0.25	3.25
9	0.50	0.55	4.86	0.31	5.90
		0.56	4.72	0.32	5.58
		0.57	4.76	0.32	5.67
Promedio				0.32	5.71
Desviación estándar				0.01	0.16

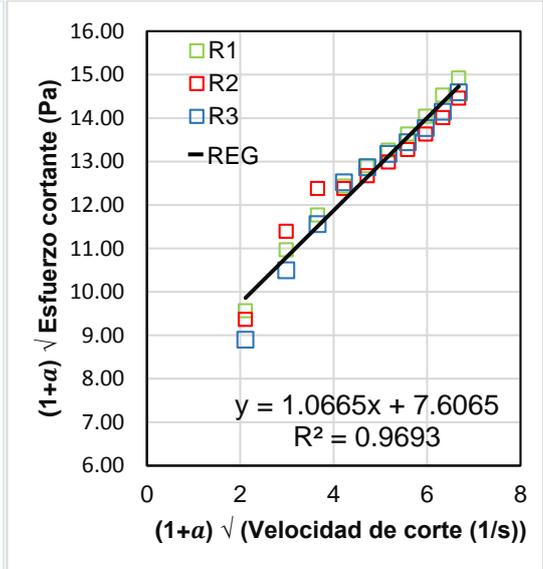
Anexo 4. Graficas de Viscosidad aparente y Viscosidad plástica

S0: CONTROL

VISCOSIDAD APARENTE

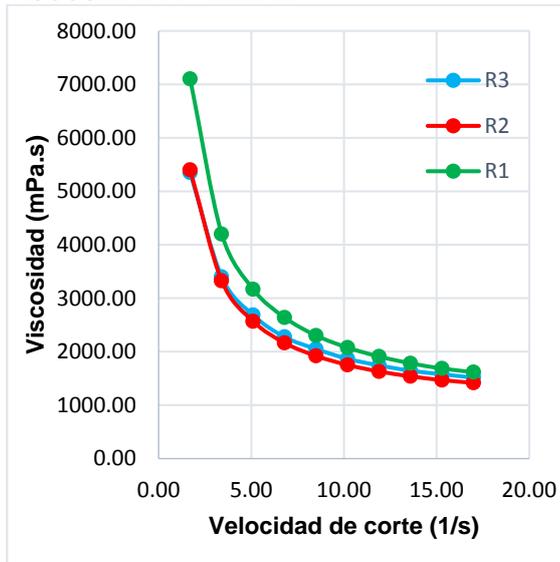


VISCOSIDAD PLÁSTICA

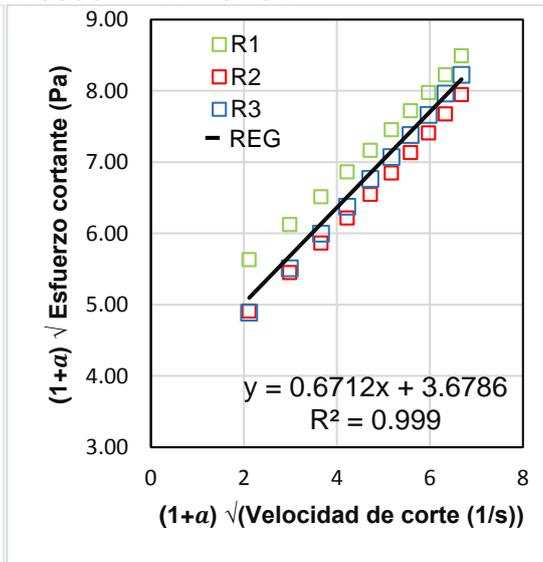


S1C1: Tratamiento con 5% extracto concentrado de yacón y 0.10 % de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE



VISCOSIDAD PLÁSTICA

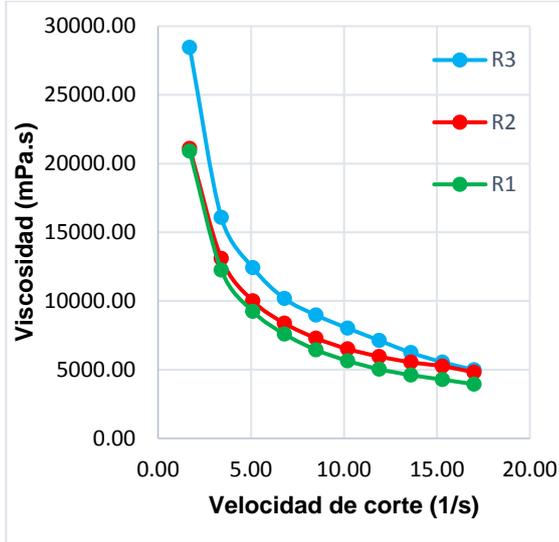


Anexo 4. Continúa

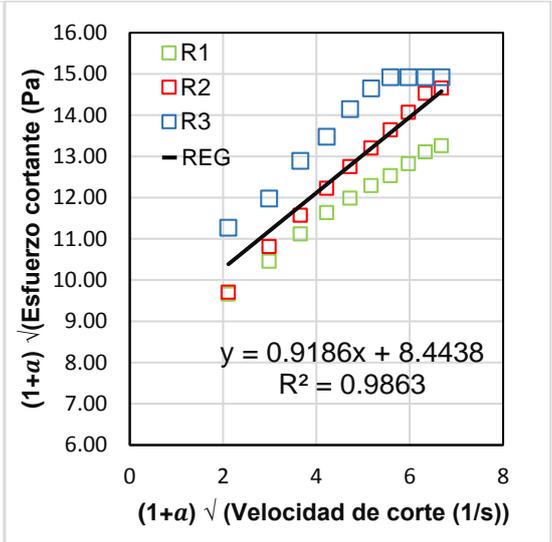
Anexo 4. Continuación

S1C2: Tratamiento con 5% extracto concentrado de yacón y 0.25 % de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE

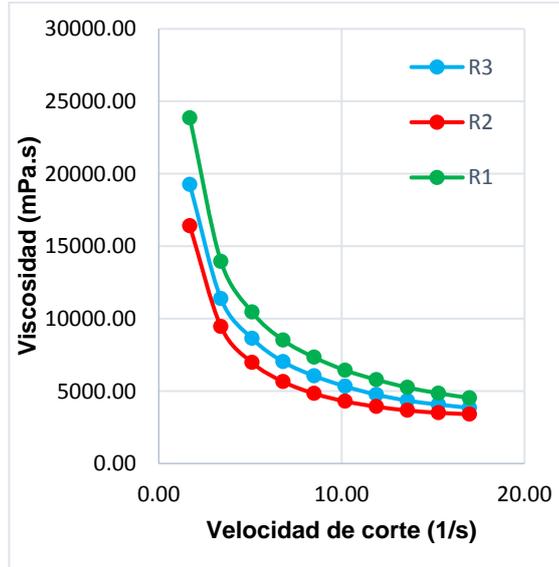


VISCOSIDAD PLÁSTICA

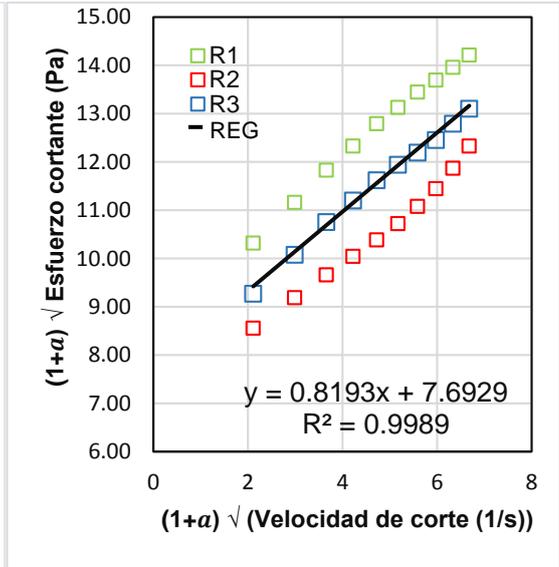


S1C3: Tratamiento con 5% extracto concentrado de yacón y 0.50 % de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE



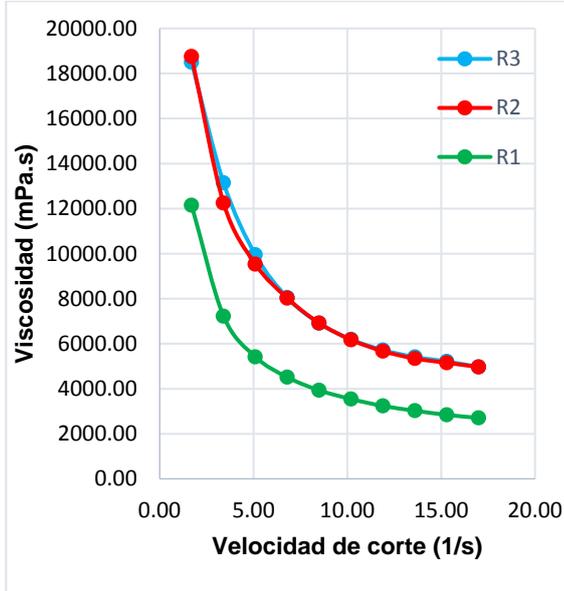
VISCOSIDAD PLÁSTICA



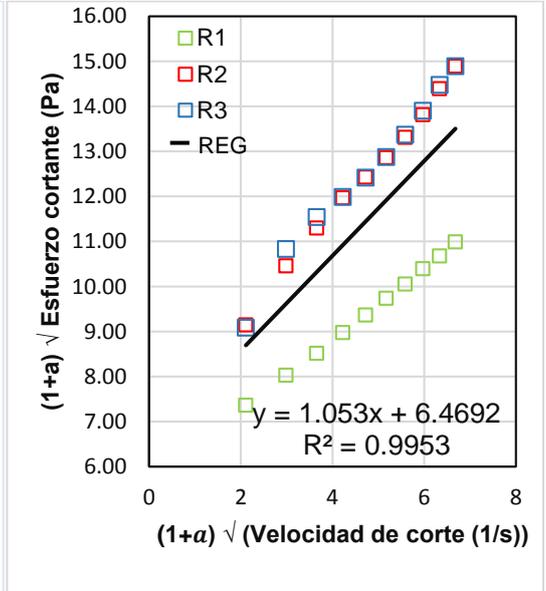
Anexo 4. Continuación

S2C1: Tratamiento con 7% extracto concentrado de yacón y 0.10 % de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE

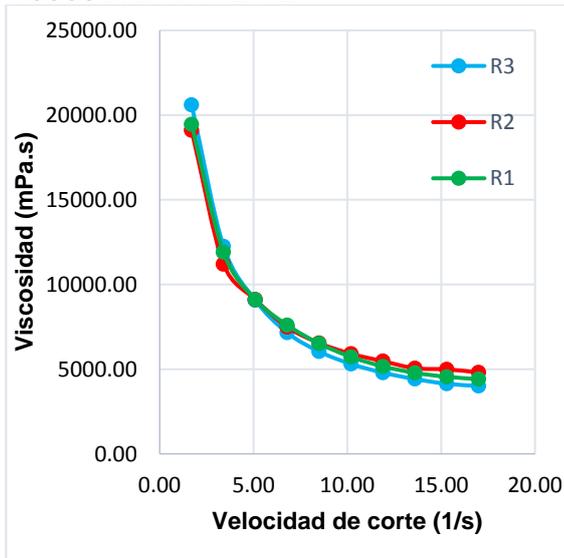


VISCOSIDAD PLÁSTICA

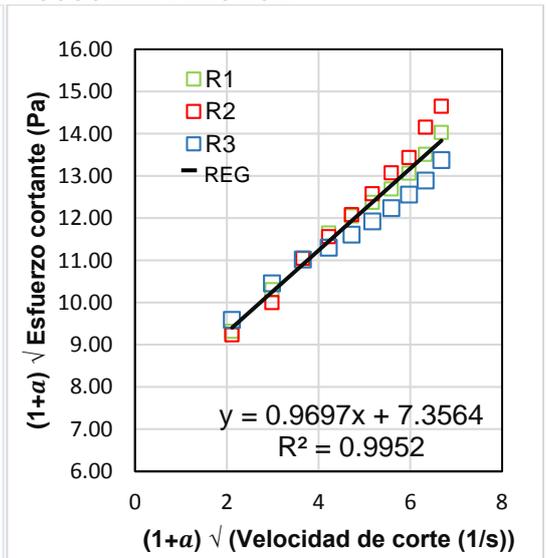


S2C2: Tratamiento con 7% extracto concentrado de yacón y 0.25 % de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE



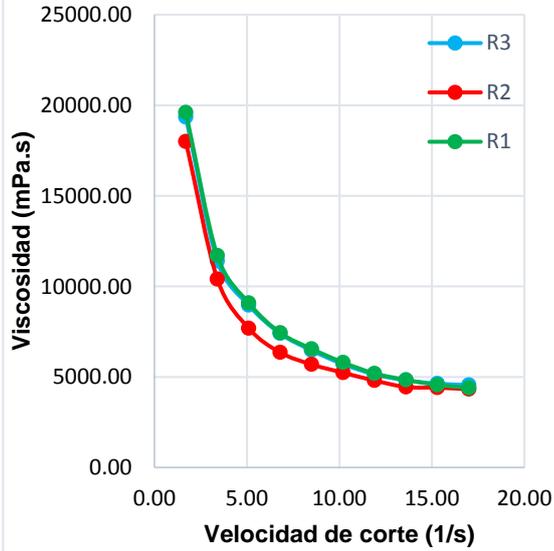
VISCOSIDAD PLÁSTICA



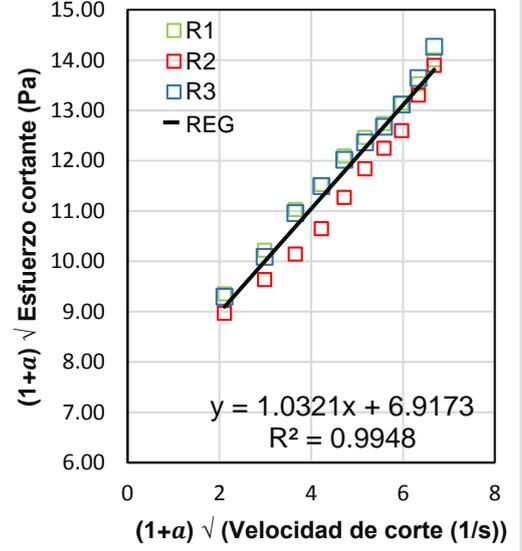
Anexo 4. Continuación

S2C3: Tratamiento con 7% extracto concentrado de yacón y 0.50 % de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE

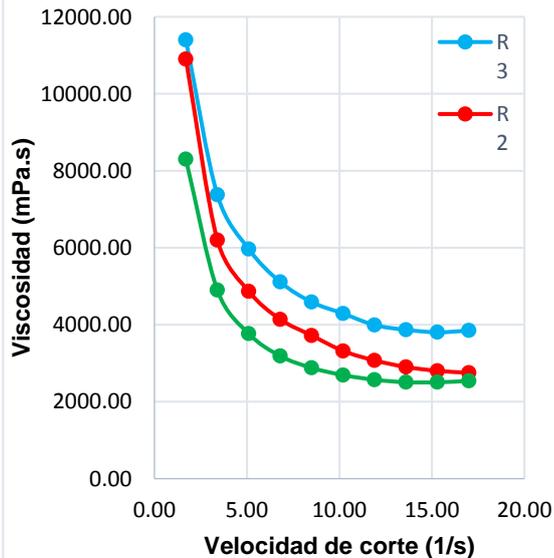


VISCOSIDAD PLÁSTICA

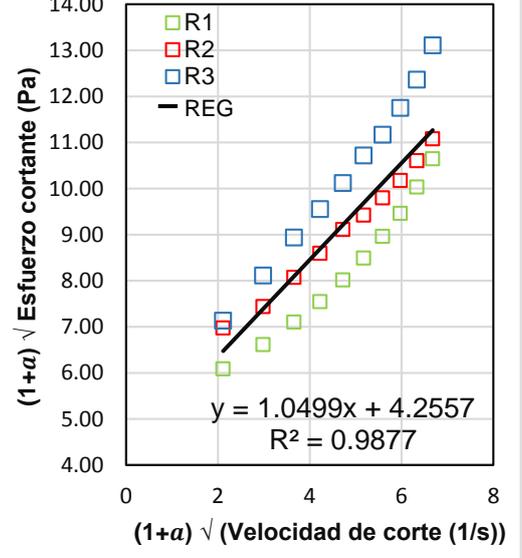


S3C1: Tratamiento con 9% extracto concentrado de yacón y 0.10 % de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE



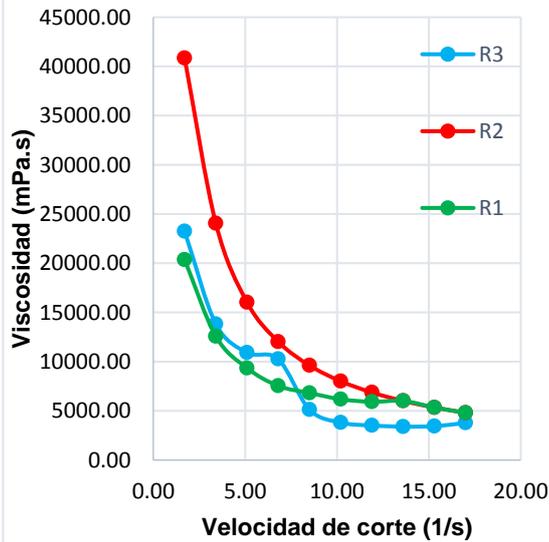
VISCOSIDAD PLÁSTICA



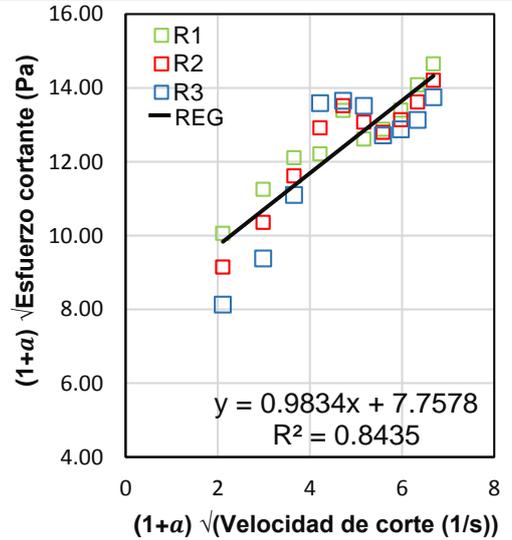
Anexo 4. Continuación

S3C2: Tratamiento con 9% extracto concentrado de yacón y 0.25 % de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE

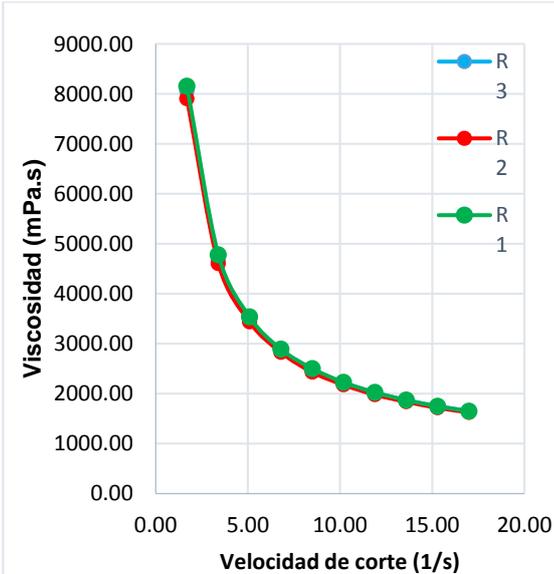


VISCOSIDAD PLÁSTICA

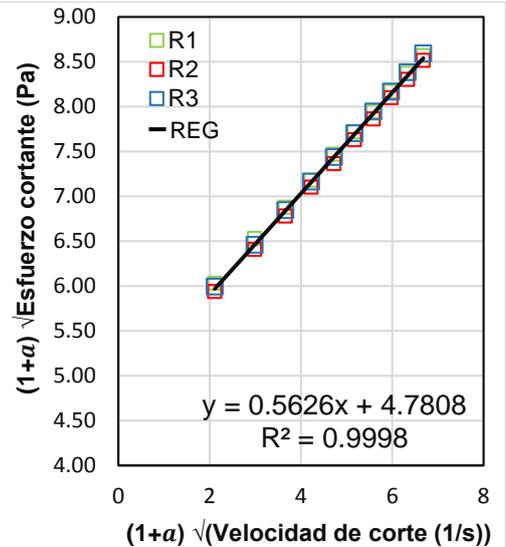


S3C3: Tratamiento con 9% extracto concentrado de yacón y 0.50% de lecitina de soya

VISCOSIDAD APARENTE

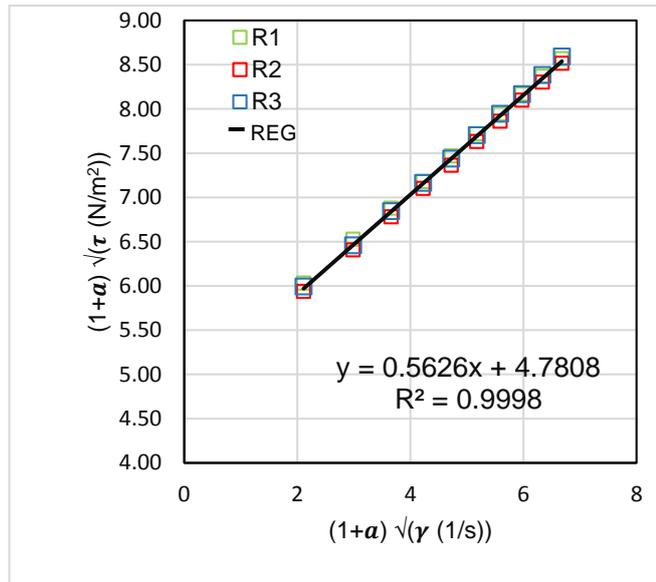


VISCOSIDAD PLÁSTICA



Anexo 5. Ejemplo de cálculo de viscosidad plástica de Casson y esfuerzo mínimo de Casson

Ejemplo con datos del tratamiento S3C3



$$(1 + a)\sqrt{\tau} = 2\sqrt{\tau_{0CA}} + \sqrt{\eta_{CA}}(1 + a)\sqrt{\dot{\gamma}}$$

$$\text{Pendiente} = \sqrt{\eta_{CA}}$$

$$\eta_{CA} = \text{Pendiente}^2$$

$$\eta_{CA} = 0.5626^2 = 0.32 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\text{Intercepto} = 2\sqrt{\tau_{0CA}}$$

$$\tau_{0CA} = \frac{\text{Intercepto}^2}{4}$$

$$\tau_{0CA} = \frac{4.7808^2}{4} = 5.71 \text{ Pa}$$

Anexo 6. Valores experimentales de la firmeza en la cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina

Extracto concentrado de yacón (%)	Lecitina de soya (%)	Firmeza-2 mm (N)	Firmeza-4 mm (N)
	Control	42.25	42.91
		42.83	41.21
		48.45	48.44
	Promedio	44.51	44.19
	Desviación estándar	3.43	3.78
5	0.10	51.12	51.27
		51.20	51.24
		47.66	51.21
	Promedio	49.99	51.24
	Desviación estándar	2.03	0.03
5	0.25	37.61	34.76
		45.58	45.12
		46.73	46.78
	Promedio	43.31	42.22
	Desviación estándar	4.97	6.51
5	0.50	36.29	37.16
		36.39	37.33
		32.79	10.02
	Promedio	35.16	28.17
	Desviación estándar	2.05	15.72
7	0.10	32.79	29.61
		30.93	29.21
		34.18	24.30
	Promedio	32.63	27.71
	Desviación estándar	1.63	2.96
7	0.25	23.56	24.85
		23.50	20.18
		21.47	21.50
	Promedio	22.84	22.18
	Desviación estándar	1.19	2.40
7	0.50	30.43	26.69
		28.45	25.47
		30.79	32.23
	Promedio	29.89	28.13
	Desviación estándar	1.26	3.60
9	0.10	33.21	32.84
		33.11	33.07
		37.96	26.38
	Promedio	34.76	30.77
	Desviación estándar	2.77	3.80
9	0.25	34.37	36.60
		43.84	44.07
		41.02	40.34
	Promedio	39.74	40.33
	Desviación estándar	4.86	3.74
9	0.50	45.27	51.02
		43.62	47.88
		45.60	15.27
	Promedio	44.83	38.05
	Desviación estándar	1.06	19.80

**Anexo 7. Valores de la Aceptabilidad general (Prueba de Skillings – Mack)
en la cobertura de chocolate con extracto de yacón y lecitina**

Panelistas	S0	S1C1	S1C2	S1C3	S2C1	S2C2	S2C3	S3C1	S3C2	S3C3
1		7		6	8	6				6
2		6	5		8	7				3
3		7		5		9		9		8
4	8		7	7	9	8				
5	6	7		7	9		7			
6		9	9	7	8				8	
7	9			8			9		8	9
8	8	8	8				9	7		
9				5	7		9	4	8	
10	8	6		8		7				9
11	5	9				8		7	7	
12	7				8	7	6			7
13		8	7		8			9		9
14	7				8	6		8		7
15		8	7		9	8	8			
16	7	7	6	6				5		
17		7		5				6	8	7
18		8	8		9			8		9
19	8				6	7	7			8
20	5	6				7		6		5
21	6	8		8		6	7			
22	5	6	5			5		5		
23			6	7	6	6		7		
24	6	7						7	8	8
25	5			5			7	7	8	
26	9	9			9			9	9	
27	7	8			6	8		7		
28	7			8		7		6	9	
29	6	5	6				5	9		
30			5	6		5	7			6
31			7		6	7		8	7	
32	8		9			9			8	8
33		7			7		8	9	8	
34	7		9	7			8			7
35	8	8				7	7		6	
36		8	9		7		8			8
37	9		9		7	8			8	
38		9	8	9	9		9			
39		9				9		9	7	9
40	8				7			8	8	9
Promedio	7.04	7.48	7.22	6.71	7.67	7.14	7.56	7.27	7.81	7.47
Moda	8	8	9	7	8	7	7	9	8	9