

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA DE ALIMENTOS**



**“MAXIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE CHOCOLATE OSCURO A
PARTIR DE MEZCLAS DE CACAO ECUATORIANO”**

Presentada por:

JACINTO ATANACIO ANDRADE ALMEIDA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN CIENCIA DE ALIMENTOS**

Lima - Perú

2023

Maximización de la calidad de chocolate oscuro a partir de mezclas de cacao ecuatoriano

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	biblioteca.uteg.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	de.slideshare.net Fuente de Internet	1%
4	ri.uaq.mx Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unicauca.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.ute.edu.ec Fuente de Internet	<1%
9	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA DE ALIMENTOS**

**“MAXIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE CHOCOLATE OSCURO A
PARTIR DE MEZCLAS DE CACAO ECUATORIANO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN CIENCIA DE ALIMENTOS**

Presentada por:

JACINTO ATANACIO ANDRADE ALMEIDA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado

Dra. Bettit Salvà Ruiz
PRESIDENTE



Dr. Milber Ureña Peralta
ASESOR

Dra. Ritva Repo de Carrasco
MIEMBRO

Dr. Edwin Baldeón Chamorro
MIEMBRO

Ph.D. Stalin Gustavo Santacruz Teràn
MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

A mis padres Jacinto  y Dolores 

A mi esposa Yonica

A mis hijos Gissela, Cristopher y Pamela

Y mi familia que siempre me brindo su apoyo

AGRADECIMIENTOS

A la ULEAM matriz y la extensión Pedernales, por el apoyo recibido para la realización del doctorado

A mi asesor de tesis Dr. Milber Oswaldo Ureña Peralta por sus sabias recomendaciones para el

desarrollo de esta investigación

A la Ph.D. Gabriela Cristina Chire Fajardo por su apoyo incondicional en la asesoría para los

análisis de laboratorio

A Nubia Martínez Guerrero por su apoyo en las pruebas sensoriales

A todos los docentes de la UNALM que me apoyaron desde la catedra

A mis amigos de la UNALM que fueron un pilar importante en todo

momento

A los técnicos de los laboratorios que siempre estuvieron presto a ayudarme

en la investigación.

Al personal administrativo de la Facultad de Industrias Alimentarias (FIAL) y a la EPG por la

ayuda recibida.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
	2.1. TRABAJOS RELACIONADOS CON LA PRESENTE INVESTIGACIÓN.....	3
	2.2. CACAO.....	5
	2.2.1. Origen del cacao.....	5
	2.2.2. Características	5
	2.2.3. Variedades de Cacao.....	6
	2.2.4. Definición del cacao.....	6
	2.2.5. Variedades cultivadas en Ecuador	7
	2.2.6. Granos de cacao	7
	2.3. PROCESAMIENTO DEL CACAO	10
	2.3.1. Limpieza	10
	2.3.2. Tostado.....	10
	2.3.3. Descascarillado	10
	2.3.4. Molienda	11
	2.3.5. Refinado	11
	2.3.6. Prensado	11
	2.4. ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE	11
	2.4.1. Definición	12
	2.4.2. Propiedad física.....	12
	2.4.3. Propiedad fisicoquímica.....	13
	2.4.4. Propiedad sensorial	14
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
	3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	17
	3.2. MATERIALES	17
	3.2.1. Materia prima.....	17
	3.2.2. Equipos, reactivos y materiales.....	17
	3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS	18
	3.3.1. Análisis proximal	18
	3.3.2. Propiedades físicas	18
	3.3.3. Porosidad (ϵ)	19

3.3.4. Índice de fermentación (IF)	19
3.3.5. Color	20
3.3.6. Valor pH.....	20
3.3.7. Acidez titulable	20
3.3.8. Método de superficie de respuesta	20
3.3.9. Análisis estadístico.....	21
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	21
3.4.1. Definición del concepto del producto	21
3.4.2. Obtención de la materia prima	21
3.5. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL CHOCOLATE OSCURO..	21
3.5.1. Etapa 1: Mezclas de materia prima	25
3.5.2. Etapa 2: Formulación y elaboración del chocolate oscuro	25
3.5.3. Etapa 3: Determinación de propiedades físicas de los chocolates	27
3.5.4. Etapa 4: Evaluación de propiedades físicas, fisicoquímicas y sensoriales del chocolate oscuro elaborado con fórmula óptima.....	28
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. CONCEPTO DE PRODUCTO.....	30
4.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL GRANO DE CACAO	31
4.2.1. Índice de grano.....	31
4.2.2. Porcentaje de testa.....	31
4.2.3. Dimensiones de grano	32
4.2.4. Porosidad del grano de cacao.....	32
4.2.5. Índice de fermentación.....	33
4.2.6. Índice de blancura	34
4.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL GRANO DE CACAO.....	34
4.3.1. Análisis proximal	34
4.3.2. Potencial de hidrógeno - pH	35
4.3.3. Acidez	36
4.4. CARACTERIZACIÓN DE CHOCOLATE OSCURO DE CADA TRATAMIENTO.....	36
4.4.1. Tamaño de partículas	36
4.4.2. Índice de blancura - IB.....	37

4.4.3. Reología	38
4.5. OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA ÓPTIMA DE CHOCOLATE OSCURO ...	41
4.5.1. Valores de propiedades físicas obtenidas en la optimización.....	41
4.5.2. Fórmula óptima de chocolate oscuro	43
4.6. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, FISICOQUÍMICA Y SENSORIAL DEL CHOCOLATE ELABORADO CON LA FÓRMULA ÓPTIMA	44
V. CONCLUSIONES.....	46
VI. RECOMENDACIONES.....	47
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
VIII. ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de granos de cacao y chocolate de Ecuador y Ghana	3
Tabla 2: Materiales mejorados de cacao liberados por INIAP y sus principales características	8
Tabla 3: Tabla peruana de composición de alimentos (Chocolate simple con azúcar).....	13
Tabla 4: Optimización de las propiedades físicas, químicas y sensoriales en chocolate oscuro	23
Tabla 5: Formulación de chocolate oscuro a diferentes porcentajes de cacao	25
Tabla 6: Mezclas de cacao en porcentaje	25
Tabla 7: Formato aplicado en la prueba de aceptabilidad sensorial general	29
Tabla 8: Índice de grano del cacao Nacional y del CCN 51	31
Tabla 9: Porcentaje de testa del grano de cacao Nacional y del CCN 51	32
Tabla 10: Dimensiones del grano de cacao Nacional y del CCN 51.....	32
Tabla 11: Porosidad del cacao Nacional y del CCN 51	33
Tabla 12: Índice de fermentación del cacao Nacional y del CCN 51.....	33
Tabla 13: Índice de blancura del cacao Nacional y del CCN 51	34
Tabla 14: Análisis proximal del cacao Nacional y cacao CCN 51.....	35
Tabla 15: Valores de pH del cacao Nacional y del CCN 51	35
Tabla 16: Acidez total (porcentaje de ácido acético) del cacao Nacional y CCN 51	36
Tabla 17: Tamaño de partícula en micras de chocolate oscuro por tratamiento	37
Tabla 18: Índice de blancura de chocolate oscuro.....	38
Tabla 19: Valores de viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia (yields stress) de Casson en tratamientos de chocolate oscuro con cacao ecuatoriano.....	39
Tabla 20: Niveles de mezcla y de porcentaje de cacao del chocolate oscuro que hacen mínimo los valores de viscosidad y esfuerzo de fluencia de Casson, índice de blancura y tamaño de partícula	41
Tabla 21: Valores de viscosidad y esfuerzo de fluencia de Casson, índice de blancura y tamaño de partícula, estimados para un grado de deseabilidad de 0,96 en la determinación de niveles óptimos de mezcla y porcentaje de cacao en chocolate oscuro	43
Tabla 22: Valores de análisis sensorial del chocolate elaborado con la fórmula óptima	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Perfil de sabores de cacao fino de aroma.....	7
Figura 2: Forma de las semillas en sección longitudinal.....	9
Figura 3: Forma de las semillas en sección transversal.....	9
Figura 4: Superficie de respuesta tridimensional	15
Figura 5: Gráfica de contornos	16
Figura 6: Diagrama del proceso de obtención de chocolate oscuro	24
Figura 7: Diagramas de contorno de viscosidad, esfuerzo mínimo de fluencia, índice de blancura y tamaño de partícula	42
Figura 8: Diagramas de contornos superpuestos de viscosidad, esfuerzo mínimo de fluencia, índice de blancura y tamaño de partícula.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Escala de deseabilidad en base al rendimiento del proceso.....	57
Anexo 2: Fotos de cacao expuesto para el análisis de corte en la determinación del índice de fermentación	57
Anexo 3: Resumen estadístico para tamaño de partículas.....	58
Anexo 4: Resumen estadístico de índice de blancura en chocolate	58
Anexo 5: Registro de data de viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia (yields stress)....	59
Anexo 6: Optimización del nivel de mezcla y del porcentaje de cacao para cada una de las propiedades físicas estudiadas	68
Anexo 7: Optimización de múltiples respuestas	76

RESUMEN

El cacao, sus productos y subproductos son de gran demanda global. Ecuador ocupa el primer lugar a nivel mundial como exportador de cacao fino de aroma, siendo materia prima del chocolate. El objetivo de esta investigación fue determinar la fórmula óptima que maximice la calidad del chocolate oscuro elaborado con la mezcla de cacao Nacional (fino de aroma) y CCN 51, que tienen la mayor superficie sembrada en Ecuador. Para su elaboración, se partió del concepto de producto: “*chocolate oscuro de mezcla de cacao ecuatoriano fino de aroma con sabor natural y dulce*”. A los granos de cacao se les determinó índice y dimensiones, porcentaje de testa, índice de blancura y porcentaje de porosidad, así como: proteína, grasa, humedad, cenizas, fibra y carbohidratos. Según diseño experimental del método de superficie de respuesta se elaboraron chocolates oscuros con 60, 70 y 80 por ciento de cacao, constituidos por mezclas 90/10, 80/20 y 70/30 de cacao Nacional y CCN 51, respectivamente; a los que se les determinó: tamaño de partícula, índice de blancura, viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia. Se obtuvo como fórmula óptima: 80 por ciento de cacao (70/30), 19,6 por ciento de azúcar y 0,04 por ciento de lecitina de soja, a la que le correspondió un coeficiente de deseabilidad de 96 por ciento obtenido por el método de optimización de múltiples respuestas; fórmula que tiene 9,89; 46,81; 2,83; 2,35; 38,12 y 2,5 por ciento de proteína cruda, grasa curda, humedad, ceniza, carbohidratos totales y fibra cruda, respectivamente; así como una aceptabilidad sensorial de 8,57 en una escala de 10 puntos.

Palabras claves: cacao Nacional, cacao CCN 51, Modelo de Casson, reología del chocolate, aceptabilidad sensorial, chocolate oscuro.

ABSTRACT

Cocoa, its products and by-products are in great demand worldwide. Ecuador is the world's leading exporter of fine aroma cocoa, which is the raw material for chocolate. The objective of this research was to determine the optimal formula to maximize the quality of dark chocolate made with the mixture of National cocoa (fine aroma) and CCN 51, which have the largest area planted in Ecuador. For its preparation, the starting point was the product concept: "dark chocolate made from a blend of Ecuadorian fine aroma cocoa with a natural, sweet flavor". The cocoa beans were measured for index and dimensions, testa percentage, whiteness index and porosity percentage, as well as protein, fat, humidity, ash, fiber and carbohydrates. According to the experimental design of the response surface method, dark chocolates were made with 60, 70 and 80 percent cocoa, consisting of 90/10, 80/20 and 70/30 mixtures of National cocoa and CCN 51, respectively; the following were determined: particle size, whiteness index, viscosity and minimum yield stress. The optimum formula was obtained as follows: 80 percent cocoa (70/30), 19.6 percent sugar and 0.04 percent soy lecithin, to which corresponded a desirability coefficient of 96 percent obtained by the multiple response optimization method; formula having 9.89; 46.81; 2.83; 2.35; 38.12 and 2.5 percent crude protein, tan fat, moisture, ash, total carbohydrates and crude fiber, respectively; as well as a sensory acceptability of 8.57 on a 10-point scale.

Keywords: National cocoa, CCN 51, Casson model, chocolate rheology, sensory acceptability, dark chocolate.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao en Ecuador está representado principalmente por pequeños productores quienes representan aproximadamente el 70 por ciento, los productores medianos con un 20 por ciento y grandes productores que representan aproximadamente un 10 por ciento. Según la International Cocoa Organization (ICCO), Ecuador ocupa el tercer lugar a nivel mundial y se encuentra entre los principales productores de granos de cacao, representando el siete por ciento de la producción mundial total. El continente africano representa el 73,3 por ciento y es el mayor productor mundial, seguido por el continente americano con 16,7 por ciento y Asia y Oceanía con el 10 por ciento (ANECACAO 2019).

Ecuador tiene una variedad de cacao Nacional con características individuales distintas, lo cual lo hace único y especial, sobresaliendo con su ya conocido sabor “Arriba”. Asimismo, posee una gran superficie de este producto, teniendo más del 70 por ciento de la producción mundial de cacao fino de aroma lo que lo convierte en el mayor productor. Posteriormente, se desarrolló un nuevo tipo de cacao en el cantón Naranjal, provincia del Guayas, conocido como CCN 51, el cual es un tipo de cacao de alta producción con características diferentes al cacao nacional, por lo que el país tiene dos tipos de cacao importantes para el proceso chocolatero (Chávez *et al.* 2018).

El CCN 51 es un cacao clonado de origen ecuatoriano, declarado el 22 de junio del 2005 mediante acuerdo ministerial, como un bien de alta productividad. El clon CCN 51 cultivado en el Ecuador es considerado cacao ordinario, corriente o común, muy diferenciado del cacao nacional “Arriba” en todo momento (Chávez *et al.* 2018).

Se evidencia que, en los últimos años el consumo del chocolate *premium* va en aumento y fortaleciéndose. Para designarse dentro de la categoría *premium*, debe ser elaborado con cacao fino de aroma, con un buen proceso de manejo postcosecha y agroindustrial para la obtención de un producto final de calidad, el comerciante de un chocolate *premium* es exigente en información de la trazabilidad y de sus atributos sensoriales que ofrece el

producto (Vignati *et al.* 2020). El consumo per cápita de chocolate en Europa es elevado, Suiza consume 10,55 kg, en Francia el consumo es de 6,8 kg; en América del Norte los Estados Unidos tiene un consumo medio de 5,68 kg, y en el resto del mundo el consumo es menor (UNESCO 2018). El consumo *per cápita* en Ecuador es de 0,3 kg, mientras tanto en Colombia es de 1,5 kg (El Comercio 2020).

La industria del chocolate sugiere incorporar CCN 51 en las mezclas de cacao fino que es más costoso que el de calidad comercial. Otros industriales opinan que realizar mezclas degrada la calidad en valor y sabor del chocolate que resulta de ella, en consecuencia, se pierde mercado en el cacao fino de aroma. La industria Greg, empresa que comercializa cacao para chocolates de alta calidad, dice que no solo es importante cultivar cacao de calidad sino hacer mezclas saludables aprovechando el potencial de las variedades (Perfect Daily Grind 2019), tal sería el caso de la mezcla de cacao Nacional con el cacao CCN 51.

Por lo expuesto, en la presente investigación se tuvo como objetivo general obtener un chocolate oscuro optimizando las propiedades físicas en base a una mezcla de granos y porcentaje de cacao en el chocolate para maximizar su calidad, siendo los objetivos específicos: el caracterizar por análisis proximal dos tipos de cacao ecuatoriano con mayor presencia ecuatorial, obtener la formulación del chocolate oscuro con 60, 70 y 80 por ciento de cacao a partir de los dos tipos de cacao seleccionados, aplicando el método de optimización de superficie de respuesta, y evaluar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los chocolates oscuros obtenidos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. TRABAJOS RELACIONADOS CON LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

Saltini y Akkerman (2012), reportan que la cadena proveedora del chocolate empieza desde el fundo de cacao. Los cacaoteros realizan labores de siembra, crecimiento, cosecha, fermentación y secado de los granos de cacao, luego son empacados en sacos de 15 kg y los envían a estaciones comerciales, donde son combinados con otros y enviados al exportador, los exportadores también combinan los sacos de muchos lugares. Por esto es importante conocer el origen de los granos de cacao, para conocer las técnicas de cultivos y la calidad.

Chire y Córdova (2005), utilizaron muestras de granos de cacao procedente de Ayacucho y Cusco por ser zonas en el Perú de mayor producción, se procesó el grano hasta obtener licor de cacao, como materia prima para la elaboración de chocolate amargo para taza. De igual manera, Saltini *et al.* (2013) mencionan que en años recientes muchos estudios han investigado la influencia de ciertas prácticas agrícolas en los granos de cacao y la subsecuencia en los parámetros de calidad del chocolate, en este caso la mezcla pretende mejorar la calidad del chocolate

Torres-Moreno *et al.* (2011), reportaron la composición química de granos de cacao y chocolate de Ecuador y Ghana (Tabla 1).

Tabla 1: Composición química de granos de cacao y chocolate de Ecuador y Ghana

Muestra	País	Humedad (*)	Ceniza (*)	Proteína (*)	Carbohidratos (*)	Fibra (*)	Grasa (*)
Granos de cacao sin tostar	Ecuador	59,5**	40,3	127,9	337,8**	194,7**	434,5**
	Ghana	51,1	35,6	128,2	365,8	113,0	419,3
Chocolate	Ecuador	14,2	15,6	64,1	598,9+	16,5	307,1
	Ghana	14,3	15,3	64,1	604,2	16,9	302,3

* Valores promedio g/kg.

** Diferencias significativas (≤ 0.05) entre muestras de granos de cacao

+ Diferencias significativas (≤ 0.05) entre muestras de chocolate

Fuente: Torres Moreno *et al.* (2001).

Chire y Hartel (2011), prepararon muestras usando 1 200 g de chocolate oscuro derretido entre 60 a 70°C en una estufa por 60 min, mezcladas con manteca de cacao fundida hasta obtener el 32 por ciento de grasa total, luego se incorporó el emulsificante en un mezclador a 50-60°C x 2 horas, hasta obtener un producto homogéneo. Investigaron el efecto de los siguientes emulsificantes sobre la reología del chocolate: Lecitina de soya (L) y Polirricinoleato de poliglicerol (PGPR) utilizados en proporciones de 0,1 por ciento y 0,3 por ciento. Se evaluó el efecto sobre la viscosidad plástica y valor mínimo de Casson cuando el chocolate alcanzó los 40 °C, usando el reómetro rotacional Brookfield®. A 0,3 por ciento de PGPR se observó parámetros de Casson menores en todos los casos y a 0,1 por ciento de PGPR fueron menores o iguales comparados con lecitina de soya estándar.

Valverde (2019), determinaron un menor tiempo de refinado-conchado del chocolate oscuro evaluando sus propiedades físicas mediante la aplicación del método de Variación No Significativa en Cinética (VNSC). Las propiedades físicas evaluadas fueron: tamaño de partícula por micrómetro, tamaño de partícula por análisis de imagen, viscosidad plástica y esfuerzo mínimo de fluencia. Las mediciones se realizaron a dos lotes de chocolate a lo largo del proceso de refinado-conchado de una fábrica de chocolate, durante 20 horas. Una vez obtenidos los datos, el análisis VNSC mostró una reducción en el tiempo de procesamiento de 8 horas, al encontrar que luego de 12 horas de refinado-conchado no hubo diferencias significativas en las propiedades evaluadas. Reportaron que la viscosidad fue incrementándose conforme transcurría el tiempo de refinado-conchado, siguiendo un modelo de regresión polinómico de tercer grado, alcanzando un valor promedio de $2,82 \pm 0,13$ Pa.s. a las 10 horas, manteniéndose sin variación significativa ($p < 0,05$) hasta las 20 horas. Asimismo, reportaron para el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson el valor promedio de $16,55 \pm 1,34$ Pa, que se encuentra dentro del rango informado para chocolate negro, es decir, 4-32 Pa (Aeschlimann y Beckett 2000).

Optimización de la formulación de chocolate oscuro a partir de la mezcla de granos de cacao y contenido de cacao aplicando método de superficie de respuesta

Chire (2019), obtuvo una fórmula de chocolate oscuro de alta calidad a partir de la mezcla binaria de granos de cacao peruano. Partieron del concepto de producto: *“Chocolate oscuro de alta calidad internacional hecho en base a mezcla de granos de cacao peruano que promueve el cultivo, la industrialización y comercialización en favor de las familias*

cacaoteras del país”. Seleccionaron como componentes de la mezcla binaria al CCN 51 e ICS 6. Se analizó los componentes de ambos varietales, CCN 51 e ICS 6. Aplicando superficie de respuesta y considerando como criterio la mejora de las propiedades físicas del chocolate: color, tamaño de partícula, propiedades reológicas y textura, se obtuvo con un índice de deseabilidad de 0,64 la fórmula óptima compuesta de una mezcla 10 partes de CCN 51 y 90 partes de ICS 6, con 70 por ciento de contenido de cacao, 29,6 por ciento de azúcar y 0,4 por ciento de lecitina de soya; que presentó valores promedio de viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia de Casson: $3,07 \pm 0,46$ Pa s y $12,28 \pm 4,36$ Pa; respectivamente. El chocolate obtuvo una aceptabilidad de consumidores peruanos y extranjeros del 69,6 por ciento.

2.2. CACAO

2.2.1. Origen del cacao

Investigadores indican que el cacao tuvo su origen en América, pero hasta la actualidad no se ha indicado un lugar preciso donde se originó, es por ello que aún sigue siendo un tema de discusión. Sin embargo, algunos autores indica que se originó en México y América Central, recalando que los Aztecas y Toltecas de México apreciaban mucho el cacao desde antes del descubrimiento de América por los españoles. Asimismo, mencionan que Hernán Cortéz observó que los Aztecas utilizaban el cacao más que cómo bebida, lo usaban como moneda o medio de pago (Batista 2009).

2.2.2. Características

El cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenece a la familia de las esterculiáceas, el árbol del cacao alcanza una altura de 8 a 10 m, los botones aparecen en la madera añeja en viejas axilas foliares en el tronco y en las ramas, puede florecer durante todo el año, siempre que en su curso no haya períodos de sequía o variaciones de temperatura muy marcadas, las frutas de baya se desarrollan de las flores en 5 - 6 meses. Las flores aparecen al principio de la época de lluvia y son polinizadas por insectos, sobre todo por los de las familias Forcipomyia y Lasioshelea. La forma de la fruta del cacao es similar a la del pepino, tiene aprox. 25 cm de largo, 8 - 10 cm de diámetro y pesa 300 - 400 g. La cáscara carnosa de 20 mm de grosor cubre la pulpa gelatinosa y agridulce que contiene un alto grado de azúcar. La fruta contiene 25 - 50 pepas de semilla en forma de almendra, de sabor amargo y dispuestas en 5 - 8 filas oblongas, una junta a la otra (FEDECACAO 2004).

2.2.3. Variedades de Cacao

Enríquez (1978) reporta en términos generales que, las variedades de cacao se pueden clasificar en tres grandes grupos: Criollos, Forasteros y Trinitarios. Cabe mencionar que entre ellas existen numerosas divisiones por hibridación y para ello se requiere de una clasificación botánica mucho más minuciosa.

a. Criollo

Produce mazorcas cilíndricas con diez surcos profundos simples, con cascara (pericarpio) verrugosa, delgada o gruesa, con una capa lignificada en el centro del pericarpio, con o sin depresión en el cuello, puntas agudas en cinco ángulos, rectos o curvadas, el color de su mazorca puede variar del verde al rojo, las semillas son blancas o ligeramente pigmentadas, de formas cilíndricas u ovals.

b. Forastero

Poseen mazorcas ovoides, amelonadas, con diez surcos superficiales o profundos, cascara lisas o ligeramente verrugosas, delgadas o gruesas con una capa lignificada en el centro del pericarpio, y los dos extremos redondos, las mazorcas son en general de color verde, con tonos blanquecinos o rosados tenues en algunas poblaciones. Sus semillas son moradas, triangulares en corte transversal, aplanadas y pequeñas.

c. Trinitarios

Constituyen las poblaciones de híbridos de cruzamientos espontáneos de criollos y amelonados y tienen características de mazorcas y semillas casi similares o en la mayor parte intermedias a los dos grupos que le dieron origen.

2.2.4. Definición del cacao

La partida arancelaria NANDINA para el cacao es la 1 801.00 y se describe como “Cacao en grano, entero o partido, crudo o tostado”. La partida 1 801.00.10 describe específicamente al cacao “crudo”.

La figura 1 presenta un diagrama de barras donde se muestra los sabores del cacao Nacional, realizado por INIAP- Estación Pichilingue (Programa Nacional de Biocomercio Sostenible 2005).

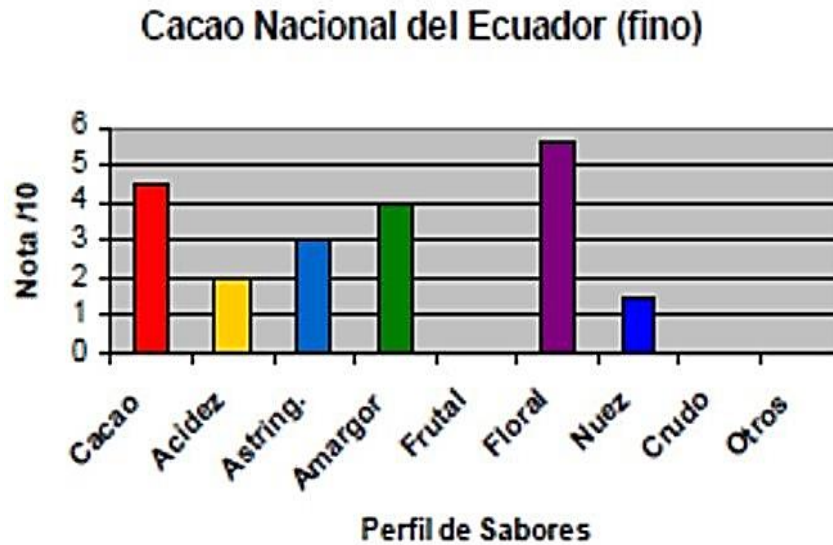


Figura 1: Perfil de sabores de cacao fino de aroma

2.2.5. Variedades cultivadas en Ecuador

El programa de cacao de INIAP ha realizado la caracterización agronómica y adaptación de los mejores materiales de cacao a nivel nacional de donde provienen los actuales clones e híbridos recomendados (Sotomayor 2011). La tabla 2 presenta de manera resumida las principales características de los materiales mejorados de cacao, liberados por el INIAP, que se recomiendan actualmente (Sotomayor 2011).

2.2.6. Granos de cacao

FEDECACAO (2004), menciona que los granos de cacao son el resultado de la cosecha y el beneficio del fruto del cacao, dicho beneficio costa de procesos postcosecha como son el despulpado, la fermentación, el secado, el embolsado y su almacenamiento. Para las industrias procesadoras, el cacao de calidad es aquel que, después de ser debidamente beneficiado, desarrolla plenamente el sabor y aroma característicos del chocolate al ser tostado y procesado, además, para las fábricas es también de importancia el tamaño del grano o almendra, el contenido de grasa y el porcentaje de cascarilla, estas características son definidas en la elección de la variedad de cacao a propagar en los campos de cultivo.

Tabla 2: Materiales mejorados de cacao liberados por INIAP y sus principales características

Material	Tipo	Año de lanzamiento	Rendimiento kg/Ha
EET-19	CLON	1976	1522
EET-48	CLON	1983	942
EET-62	CLON	1983	1039
EET-95	CLON	1971	1368
EET-96	CLON	1971	1340
EET-103	CLON	1971	1330
EET-575	CLON	2009	1210
EET-576	CLON	2009	963
EET-544	CLON	2009	1613
EET-558	CLON	2009	1559
EET-450	CLON	2010	1480
EET-454	CLON	2010	1298
H-EET 19 x EET 116	Hibrido	1983	714
H-EET 95 x EET 332	Hibrido	1983	666 – 1216
H-EET 103 x EET 387	Hibrido	1971	703
H-EET 110 x EET 19	Hibrido	1983	720

García (2010), en su catálogo de cultivares de cacao, caracteriza a las semillas de cacao por su forma tal como se muestra en las Figuras 2 y 3:



Figura 2: Forma de las semillas en sección longitudinal

Fuente: García (2010)



Figura 3: Forma de las semillas en sección transversal

Fuente: García (2010)

Los granos de cacao son morados claros, siendo frecuente encontrar algunos de color blanco o ceniza, el mucílago no es abundante y, a diferencia de los otros genotipos que son blancos, tiene una coloración marrón muy claro que puede ser el fondo del color de la semilla, este mucílago tiene un sabor mucho más dulce que los tipos Trinitarios y Forasteros, los cuales son más ácidos (IICA 2007).

Cuando se mastica el cotiledón, sin la testa de la semilla, presenta un sabor ligero amargo, y muy poca astringencia; aquí es cuando se puede detectar el olor o sabor floral, que se siente intenso en el paladar. El tamaño de los granos de cacao por lo general es grande y puede pesar hasta más de 1,5 g, cuando están secos y bien fermentados.

Otra característica típica del cacao Nacional es que sus almendras, por ser bastante claras, al finalizar el secado en forma adecuada y removiendo todo el mucílago, adquieren un color amarillento, por lo que se ganó en el mercado el nombre de la "Pepa de Oro".

2.3. PROCESAMIENTO DEL CACAO

Las tecnologías que existen para la transformación de los granos de cacao en sus diferentes subproductos son diversas, pero muchas de esas tecnologías asociadas al procesamiento del cacao, continúan siendo en algunos aspectos confidenciales.

Minifie (1999), describe los seis pasos del procesamiento del cacao para obtener chocolate de la siguiente manera:

2.3.1. Limpieza

Es la eliminación de cuerpos extraños tales como metales, piedras, trozos de madera, vidrios, entre otros. Después de esta operación es posible que aun queden residuos, los cuales se eliminan posteriormente en forma manual o por flujo de aire.

2.3.2. Tostado

Es la operación esencial donde a partir del contenido de humedad de los granos de cacao en combinación con el calentamiento se promueve un conjunto de reacciones químicas, en las cuales intervienen los compuestos precursores formados durante la fermentación y el secado, que luego darán origen al sabor y aroma inicial del chocolate, sin embargo, el buen sabor y aroma depende mucho del varietal del cacao que proporciona el cotiledón y de la manera como se realizó el proceso de fermentación y secado.

2.3.3. Descascarillado

Es el proceso en el que se elimina la cáscara, todos los granos de cacao deben someterse primero a este proceso de descascarillado antes de que se transformen en pasta o licor de cacao. En las industrias existen dos variantes importantes en este proceso: la primera variante es el tostado y luego el descascarillado, la segunda variante es el secado de los granos con radiación infrarroja para luego descascararlos y finalmente el tostado de los cotiledones

hasta el punto deseado, este último es el mejor para el procesamiento de grandes volúmenes debido a su rentabilidad.

2.3.4. Molienda

El cotiledón del cacao se muele para producir el licor de cacao; luego las partículas de cacao son suspendidas en manteca de cacao fundida, la temperatura y la intensidad de la molienda fluctúan, según el tipo de semilla de cacao empleada y de las especificaciones del diseño exigidos para el producto final, el cacao tostado y limpio se muele mediante rodillos; anteriormente se empleaban rodillos fabricados de granito, pero ahora los de acero se usan con mayor regularidad.

2.3.5. Refinado

La pasta de cacao molida puede ser refinada con fin de reducir su tamaño de partícula de 200 micras hasta 20-25 micras, es importante realizar esta operación cuando la pasta pasa a ser prensada para la obtención de manteca de cacao. Se usa refinador de billas de acero inoxidable por un tiempo que puede fluctuar de 6 a 20 horas.

2.3.6. Prensado

La pasta de cacao pasa a prensas, en esta etapa se separa la grasa de la masa o licor hasta el porcentaje deseado y el residuo que se forma durante este proceso es lo que constituye la torta de cacao. Para producir la torta con diversas proporciones de grasa el fabricante controla la cantidad de manteca que se extrae del licor de cacao. La torta se pulveriza con la finalidad de obtener la cocoa en polvo, la que tiene un uso amplio en la industria alimentaria.

2.4. ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE

La pasta de cacao se mezcla con la manteca de cacao, azúcar, cocoa y agentes emulsionantes, las proporciones de estos ingredientes varían según el tipo de chocolate que se pretende fabricar. La mezcla se somete a un proceso de refinación, con el propósito de mejorar su textura y luego la mezcla refinada se lleva a un proceso de amasado, este proceso denominado “conchado” o “concado” produce una mayor intensidad en el sabor del chocolate. La siguiente fase consiste en el atemperado de la mezcla para lo cual se deposita

en moldes que se introducen a una cámara fría, las presentaciones finales del producto son por lo general en tabletas (INDECOPI 2007).

2.4.1. Definición

El chocolate en algunas regiones también descrito como chocolate amargo, chocolate semidulce, chocolate oscuro deberá contener, referido al extracto seco, no menos del 35 por ciento de extracto seco total de cacao, del cual el 18 por ciento, por lo menos, será manteca de cacao y el 14 por ciento, por lo menos, extracto seco magro de cacao. Adición grasas vegetales distintas de la manteca de cacao no mayor al 5 por ciento del producto terminado (INDECOPI 2007).

2.4.2. Propiedad física

Jiménez y Gutiérrez (2001), mencionan que el color en el sentido físico es la distribución de energía de una luz reflejada o transmitida por un alimento en particular, por lo que el color en un alimento estará influenciado por la absorción de la luz de las partículas en ese alimento. Para expresar el color de los alimentos con frecuencia se usa el sistema CIE L^* , a^* y b^* , este sistema usa tres coordenadas espaciales a^* (+ a^* rojo, - a^* verde), b^* (+ b^* amarillo, - b^* azul) y luminosidad L^* (0 negro, -100 blanco) (Voltz 2001). La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) desarrollo un modelo cromático para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano, tiene un espacio cromático mediante coordenadas cilíndricas de claridad (L^*), croma o saturación (C^*) y tonalidad (H^*) además de las coordenadas rectangulares L^* a^* b^* .

Ortiz *et al.* (2004), en un ensayo realizado en Aragua - Venezuela con mezclas de cacao tipos criollos y forasteros secados al sol, determinaron que durante la fermentación los niveles de remoción del cacao en distintos pisos no tuvieron diferencias significativas al cinco por ciento entre los valores de los parámetros L^* a^* y b^* en el color del grano.

La característica reológica es importante en el chocolate, ya que la manteca de cacao (alrededor de 1/3 de su composición) se funde completamente a temperaturas corporales, mientras que es casi completamente sólida, por ejemplo, 20 °C (Dick y Arjen 2001).

Los bloques de chocolate de primera calidad pueden tener tamaño de partícula tan pequeños como 10 a 12 μm (micras), mientras que el chocolate que se utiliza como recubrimiento en barra tiene tamaños de partícula de 20 a 40 μm (Morgan 1994, citado por Dick y Arjen 2001). Beckett (2002), reporta que la viscosidad (η) se define como la relación entre el esfuerzo de cizalla y la gradiente de deformación, la unidad en la que se expresa la viscosidad es Pascal - segundo (Pa.s), aunque todavía se utilizan las unidades antiguas Poises (0,1 Pa.s).

El chocolate tiene el comportamiento de fluencia líquido Bingham, requiere de una fuerza considerable para empezar a fluir; pero una vez que empieza a moverse, mientras mayor sea la fuerza, más fluido se vuelve, por lo tanto, la viscosidad está definida por la velocidad a la que fluye y se describe por una expresión matemática, siendo la más utilizada la ecuación de Casson. La mayoría de los chocolates contienen entre 25 por ciento y 35 por ciento de grasa, el efecto de uno por ciento de grasa extra sobre la viscosidad del chocolate depende de la cantidad que ya exista en él, así como los parámetros de viscosidad considerados.

Para un contenido de grasa por encima de 32 por ciento, los cambios son pocos en la viscosidad, en cambio, el aumento de uno por ciento de grasa sobre el contenido en grasa del 28 por ciento tiene un efecto realmente espectacular en la viscosidad plástica, que se reduce casi hasta la mitad. En el chocolate no hay casi agua, de modo que el emulsificante actúa de un modo diferente.

2.4.3. Propiedad fisicoquímica

La Tabla 3 presenta la composición química del chocolate simple con azúcar.

Tabla 3: Tabla peruana de composición de alimentos (Chocolate simple con azúcar)

Chocolate simple con azúcar	Composición en 100g de alimentos	
	Cantidad	Unidad
Energía	248	kcal
Agua	3,1	g
Grasa	16,8	g
Carbohidratos	75,1	g
Proteína	3,8	g
Fibra	1,0	g
Cenizas	1,2	g

Fuente: INS (2009)

2.4.4. Propiedad sensorial

Para pruebas afectivas utilizadas en el desarrollo de prototipos de productos se emplean como panelistas no entrenados al menos 50 personas (Ureña et al. 1999). Por otro lado, Ali *et al.* (2001) evaluaron atributos sensoriales para chocolates oscuros rellenos como: color, textura, sabor y aceptabilidad general usando una escala hedónica de siete puntos (1= extremadamente disgusta, 4 = moderado, 7 = extremadamente gusta) con 25 panelistas seleccionados y entrenados de estudiantes de posgrado y administrativos de la Facultad de Ciencias y Biotecnología de la Universidad de Putra en Malasia, empleando la metodología de Lardmond (1977). El análisis sensorial reviste gran importancia porque con los resultados determinamos que aceptación tiene en el público consumidor y de acuerdo a eso podemos continuar con la fórmula que hemos desarrollado el producto o se la reformula hasta encontrar un producto de satisfacción del consumidor.

2.5. MÉTODOS Y DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Montgomery (2006), describe la metodología para la superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés) como un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas que son útiles para el modelado y análisis en las aplicaciones donde una respuesta de interés recibe la influencia de varias variables y el objeto es optimizar esta respuesta. El enfoque RSM general fue desarrollado a principios de los años 1950, y se aplicó inicialmente en la industria química con considerable éxito, en los últimos 20 años, la RSM ha encontrado una amplia aplicación en una gran variedad de escenarios industriales, rebasando con mucho sus orígenes en los procesos químicos, incluyendo los semiconductores hasta procesos de ensamblaje.

En la mayoría de los problemas de RSM, no se conoce la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes. Por tanto, el primer paso de la RSM es encontrar una aproximación adecuada de la verdadera relación funcional entre "y" y las variables independientes. Por lo general se emplea un polinomio de orden inferior en alguna región de las variables independientes. Si una función lineal de las variables independientes modela adecuadamente la respuesta, entonces la función de aproximación es el modelo de primer orden.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots \beta_kx_k + \varepsilon$$

Si hay curvatura en el sistema, entonces debe usarse un polinomio de orden superior, tal como el modelo de segundo orden.

En muchos problemas RSM se usa uno de estos modelos, o ambos, es poco probable que un modelo polinómico será una aproximación razonable de la verdadera relación funcional en el espacio completo de las variables independientes, pero para una región relativamente pequeña suele funcionar bastante bien.

Se usa el método de mínimos cuadrados para estimar los parámetros de los polinomios de aproximación, es decir, las estimaciones de las β en las ecuaciones anteriores son aquellos valores de los parámetros que minimizan la suma de cuadrados de los errores del modelo. Después se realiza el análisis de la superficie de respuesta en términos de la superficie ajustada, si la superficie ajustada es una aproximación adecuada de la verdadera función de la respuesta, entonces el análisis de la superficie ajustada será un equivalente aproximado del análisis del sistema real.

La RSM es un procedimiento secuencial, cuando uno se encuentra en un punto de la superficie de respuesta que este apartado del óptimo, como en el caso de las condiciones de operación actuales que se muestran en la figura 4. El sistema presenta poca curvatura y el modelo de primer orden será apropiado. El objetivo en este caso es llevar al experimentador de manera rápida y eficiente a la vecindad general del óptimo, una vez que se ha encontrado la región del óptimo, puede emplearse un modelo más elaborado, tal como el modelo de segunda orden, y realizarse un análisis para localizar el óptimo.

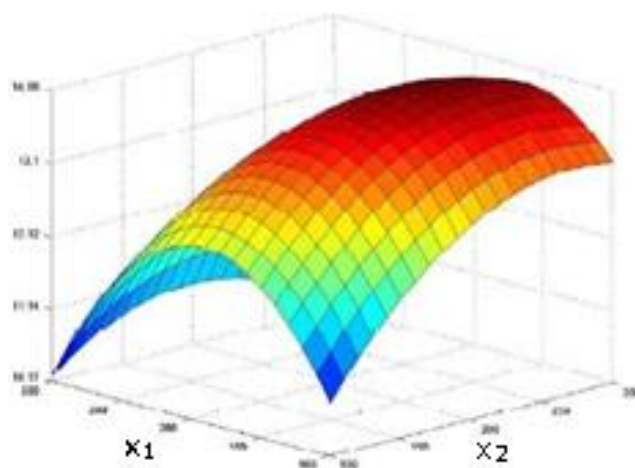


Figura 4: Superficie de respuesta tridimensional

En la Figura 5 puede verse que el análisis de una superficie de respuesta puede considerarse como "el ascenso de una colina", donde la cima de la colina representa el punto de la respuesta máxima, si el verdadero óptimo es un punto de respuesta mínima entonces la situación puede considerarse como "el descenso a un valle".

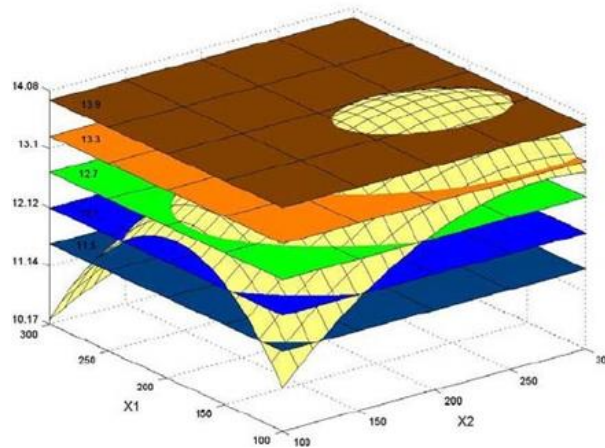


Figura 5: Gráfica de contornos

Para determinar la fórmula óptima del chocolate oscuro, se aplicaron métodos gráficos y la función deseabilidad máxima del sistema de múltiples respuestas (Torres *et al.* 2018), considerando los cuatro modelos de regresión determinados para la optimización de cada una de las propiedades físicas: viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia de Casson, índice de blancura y tamaño de partícula. Esta función, cuyo rango de valores varía entre 0 y 1 (Anexo 1), que se calcula al promediar las medias geométricas de las deseabilidades individuales de cada variable respuesta, como se muestra en la ecuación:

$$D = (V, E, IB, TP)^{1/5}$$

Donde:

D = Deseabilidad, V= Viscosidad de Casson, E = Esfuerzo mínimo de fluencia de Casson, IB = Índice de blancura, TP = Tamaño de partícula.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se realizó en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos de Alimentos y el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicada en la ciudad de Lima – Perú, en la planta de procesamiento de Cacao Choco Museo (Lima, Perú), planta de procesamiento de cacao Tinkiy Chocolate (Lima, Perú) y planta de procesamiento de cacao Warmitech (Saposa, Perú).

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Se usó cacao Nacional y CCN 51, ambos materiales procedentes de Ecuador, provincia de Manabí. El cacao Nacional fue obtenido en la asociación fortaleza del valle del Cantón Bolívar y el cacao CCN 51 en el Cantón Pedernales.

3.2.2. Equipos, reactivos y materiales

a. Equipos

- Verniere Stainless Hardened®
- Balanza Analítica Adventurer® Mod. AR 2140
- Porosímetro de Day modificado por Ureña.
- Colorímetro digital (Konica Minolta® CR400)
- Potenciómetro SCHOTT, Handylab D-55014 Mainz®
- Reómetro marca BROOKFIELD® DV3T
- Micrómetro marca MITUTOYO®
- Horno microonda
- Tostador
- Descascarillador

- Molino
- Concadora

b. Reactivos

Los reactivos para los análisis fueron: ácido sulfúrico 95-98 por ciento, catalizador $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: K_2SO_4 : 1:300, Solución de hidróxido de sodio al 80 por ciento (p/p) (libre de nitrato), solución indicadora de rojo de metilo, verde de bromocresol, solución de ácido bórico al cuatro por ciento con indicador, solución estándar de ácido clorhídrico 0,05N, éter de petróleo, solución al 1,25 por ciento de ácido clorhídrico, solución al 1,25 por ciento de hidróxido de sodio y alcohol 95 por ciento, ácido clorhídrico concentrado, etanol absoluto, éter etílico, solvente con nitrógeno, hidróxido de sodio metanólico al dos por ciento, trifluoruro de boro, iso-octano, cloruro de sodio saturado, cloruro de litio 8,57 Molar (M) y cloruro de sodio 6 Molar (M).

c. Materiales

Tabla de mármol, recipientes, espátulas, moldes de plástico (25 g), papel aluminio, fundas de plástico.

3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.3.1. Análisis proximal

El método utilizado para el análisis proximal se realizó de acuerdo con los métodos oficiales de análisis de la AOAC en el año 2005: humedad 931.04, proteína cruda 970.22, grasa cruda 963.15, cenizas 972.15, fibra cruda 930.20a y 962.09e, y los carbohidratos totales se determinaron restando del 100 por ciento el porcentaje de los compuestos ya determinados.

3.3.2. Propiedades físicas

Comprenden las dimensiones del grano de cacao que fueron medidas con un verniere Stainless Hardened® 2-10 mm (Chire *et al.* 2014). Para determinar el índice de grano (IG) (APPCACAO 2012), se procedió a pesar 100 g de cacao, dividido para 100, en una balanza analítica Adventurer®, con un rango de medición (10-4 g) Mod. AR 2140. Para el porcentaje de testa, se pesaron 30 g de cacao y luego se procedió a retirar manualmente la testa, reportándose el porcentaje de cascarilla de la muestra respecto al índice de grano (Vera *et al.* 2014).

3.3.3. Porosidad (ϵ)

Se determinó conociendo la densidad real del grano de cacao en un porosímetro de Day modificado por Ureña (1990), así como la densidad aparente del grano de cacao. La densidad aparente es el cociente entre la masa de producto y el volumen aparente del mismo (volumen incluyendo los huecos entre los granos):

$$\rho_{\text{aparente}} = \frac{m}{V_{\text{aparente}}}$$

La densidad aparente se la determinó pesando un total de 50 g de cacao, se insertaron en una probeta de 250 mL y se relacionó masa (kg) y volumen (L).

La densidad real es el cociente entre la masa del producto y su volumen real (volumen excluyendo los huecos entre los granos):

$$\rho_{\text{real}} = \frac{m}{V_{\text{real}}}$$

Conociendo la densidad real y la densidad aparente se aplicó la ecuación (ϵ) que se muestra y se obtuvo el valor de porosidad.

$$\rho_{\text{real}} = \frac{m}{V_{\text{real}}}$$

3.3.4. Índice de fermentación (IF)

Se procedió a cortar longitudinalmente 300 granos para observar el grado de fermentación de acuerdo con la coloración presente, los surcos y las estrías en el interior de los granos de cacao. Se consideraron granos de cacao bien fermentados a aquellos que presentaron estrías bien pronunciadas y color marrón o café rojizo. Los granos que tienen menos estrías y color púrpura fueron considerados granos de cacao medianamente fermentados, mientras que los de color violeta o pizarroso, con ligeras estrías y compactas, se los consideraron granos de cacao no fermentados, lo que permitió de esta manera, contabilizar los granos de cacao bien fermentados para calcular el índice de fermentación (INACAL 2016; Gutiérrez 2007).

3.3.5. Índice de blancura

Se determinó por Índice de Blancura (IB), el cual significa el grado de blancura que tiene un alimento y se mide en una escala de 0 a 100; a mayor valor de IB es más blanco o claro, y entre más se acerca el valor de IB a cero es más oscuro o negro (Lohman y Hartel 1994). Para ello, se preparó la muestra vertiéndola en un molino con cuchillas trituradoras hasta quedar en partículas muy finas, luego se cernió con un tamiz de 100 µm y después se procedió a medir con el colorímetro digital (Konica Minolta CR400), para determinar los valores de L*, a* y b* para obtener el IB mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

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

Donde:

IB = índice de blancura, L* = luminosidad, a* = coordenadas rojo/verde, y b* = coordenadas amarillo/azul.

3.3.6. Valor pH

Utilizando un potenciómetro SCHOTT®, Handylab® D-55014 Mainz®, método 970.21 (AOAC 2016). Se determinó el pH de ambos materiales antes de la mezcla.

3.3.7. Acidez titulable

El análisis químico comprendió la medición de la acidez titulable expresada como porcentaje de ácido acético, utilizando el método 942.15 (AOAC 2016).

3.3.8. Método de superficie de respuesta

Se utilizó con la finalidad de definir los niveles de las variables que conduzcan al chocolate con la mezcla de cacao que definan su mejor calidad a lo óptimo de la mezcla, considerando las características de viscosidad y valor mínimo de Casson, el color oscuro, menor valor de índice de blancura (IB) y el tamaño de partícula como variables respuesta y, como variables control o factores la mezcla de cacao y el porcentaje de cacao en el chocolate, en un arreglo factorial 3², lo que se realizó 18 veces al tenerse nueve tratamientos con dos repeticiones cada uno según diseño experimental del método de superficie de respuesta.

3.3.9. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó aplicando el programa Statgraphics® para determinar medias y desviaciones estándar de valores obtenidos de las variables estudiadas y el análisis de varianza ($p < 0,05$) para evaluar diferencias entre medias, así como para la aplicación del método de superficie de respuesta.

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1. Definición del concepto del producto

Para obtener el concepto del producto, se aplicó el método de *focus group* convocando a personas del sector cacaotero y chocolatero de Ecuador, así como a consumidores, para que den opiniones y sugerencias para esbozar el producto que se espera introducir al mercado. A partir de una idea se generan varios conceptos preliminares que después deben ser expuestos en estas reuniones para seleccionar el mejor, que será luego la referencia básica para el posterior desarrollo del producto. La generación de la idea se basó en criterios como: demanda del consumidor, tipo de producto, mercado meta y tecnología disponible (Ulrich 2013).

3.4.2. Obtención de la materia prima

Los granos de cacao ecuatorianos CCN 51 (Colección Castro Naranjal Número 51) y Nacional, fueron cosechados como mazorcas de cultivares en el estado de madurez requerido para la elaboración de chocolate, cuyos granos fueron extraídos el mismo día de la cosecha, fermentados adecuadamente y secados al sol. Las muestras fueron adquiridas por muestreo aleatorio en el cantón Calceta y cantón Pedernales, provincia de Manabí, perteneciente a la región costa, se las empacó en sacos de yute, en su la rotulación se identificó el lote, adicionalmente se obtuvo conocimiento del tiempo de fermentación y el tiempo de secado de cada tipo de grano. Las muestras, en ambos casos, fueron almacenadas a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y 60-70 por ciento de humedad relativa antes de su uso.

3.5. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL CHOCOLATE OSCURO

Mediante el método de superficie de respuesta se maximizó la calidad del chocolate oscuro al obtenerse una fórmula con los valores óptimos de sus propiedades físicas: mezcla de granos de cacao (B), Nacional (A) y CCN 51 (C) (Tabla 4). Esta fórmula óptima fue

determinada con la optimización simultánea aplicando la función de deseabilidad (Chire 2019).

Considerando el diseño experimental del método de superficie de respuesta de dos factores con tres niveles cada uno y con dos repeticiones del diseño ($3^2 \times 2$), se aplicó el procedimiento experimental constituido de cuatro etapas (Figura 6): Mezcla de materia prima, formulación y elaboración del chocolate oscuro. Determinación de las propiedades físicas del chocolate y evaluación de propiedades físicas, fisicoquímicas, químicas y sensoriales del chocolate oscuro elaborado con fórmula óptima. Los nueve tratamientos del diseño fueron codificados como RBn-Dn (Tabla 4); es decir, como ejemplos: la mezcla de granos 90/10 (B1) que corresponderá el 60 por ciento de cacao (D1) en la fórmula del chocolate tendrá el código R1-60, la mezcla de granos 80/20 (B2) que corresponderá el 80 por ciento de cacao (D3) en la fórmula del chocolate tendrá el código R2-80, así como la mezcla de granos 70/30 (B3) que corresponderá el 70 por ciento de cacao (D2) en la fórmula del chocolate tendrá el código R3-70.

Tabla 4: Optimización de las propiedades físicas, químicas y sensoriales en chocolate oscuro

Mezcla de materia prima (B=A+C) A: Cacao Nacional C: Cacao CCN 51	Procesamiento del chocolate y formulación del chocolate oscuro D: % de cacao en chocolate oscuro	Determinación propiedades para chocolate Bn x Dn	
B	Tratamientos	Física	Fisicoquímica y química
Mezcla de granos de cacao (%)	B1 x D1 B1 x D2 B1 x D3 B2 x D1 B2 x D2 B2 x D3 B3 x D1 B3 x D2 B3 x D3	Índice de blancura Tamaño de partícula Viscosidad de Casson Esfuerzo mínimo de fluencia de Casson	Proximal Sensorial Prueba de aceptación por consumidores
A/C B1 90 / 10 B2 80 / 20 B3 70 / 30	D1: 60% D2: 70% D3: 80% cacao, Proceso Estándar		
Pruebas Estadísticas:	Superficie de Respuesta $3^2 \times 2$ Coeficiente de deseabilidad		Desviación estándar <i>T-Student</i> (3 repeticiones)

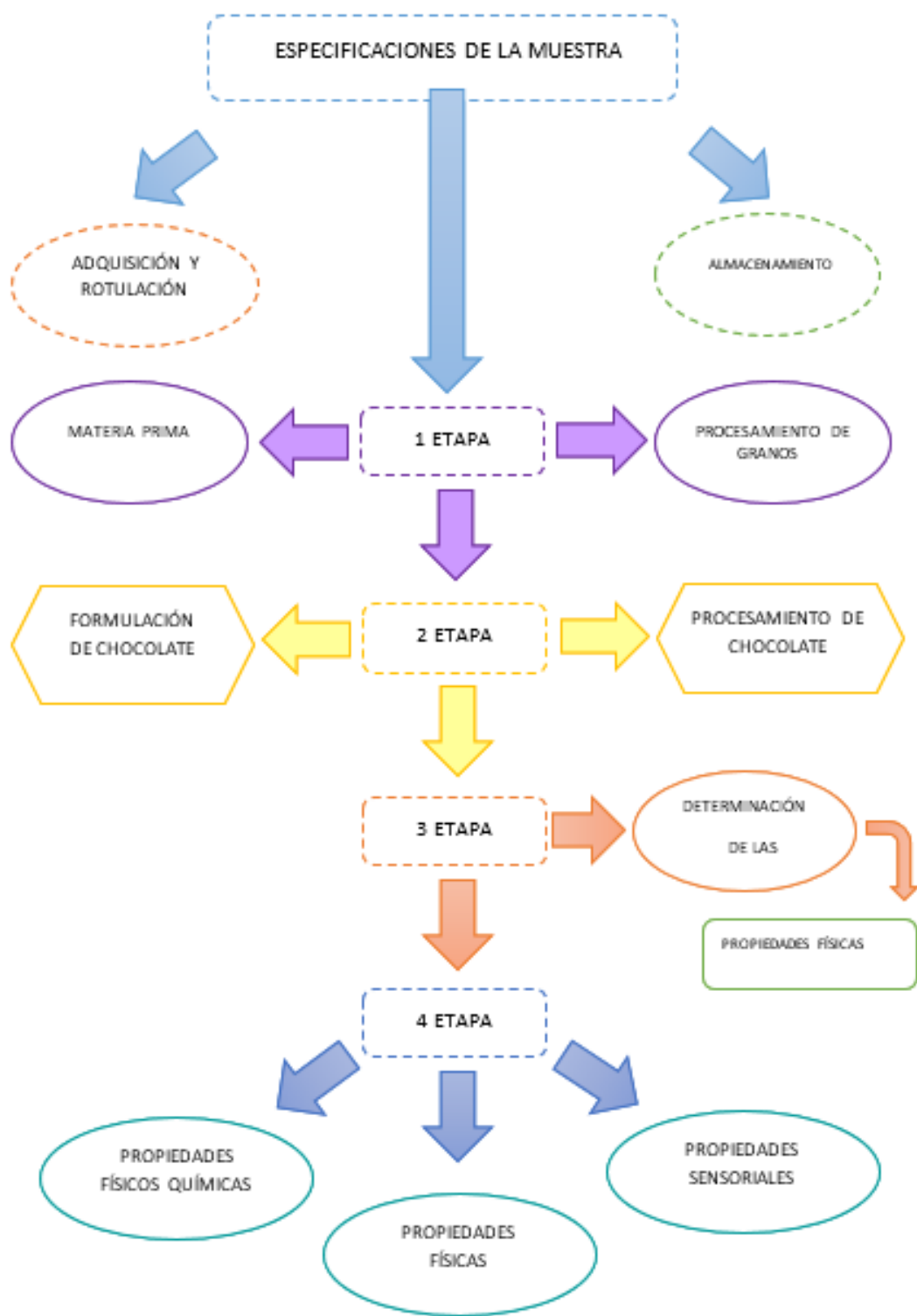


Figura 6: Diagrama del proceso de obtención de chocolate oscuro

3.5.1. Etapa 1: Mezclas de materia prima

La materia prima constituida por granos de cacao Nacional (A) y cacao CCN 51 (C), fueron seleccionados y caracterizados, para ser luego utilizados para constituir mezclas (B) donde la proporción del cacao Nacional está en mayor cantidad que el cacao CCN 51, las que fueron: B1: 90/10, B2: 80/20 y B3: 70/30. Ambos varietales estuvieron sujetos a un análisis proximal de los granos de cacao (AOAC 2005; ICA 1988) y se recolectaron en una población al azar de Nacional y CCN 51.

3.5.2. Etapa 2: Formulación y elaboración del chocolate oscuro

Los ingredientes utilizados fueron: pasta de cacao, azúcar blanca refinada, manteca de cacao, cocoa en polvo y lecitina de soja; luego, se procesó a tres diferentes porcentajes de cacao: 60, 70 y 80 por ciento, formulando según las tablas 5 y 6. Los porcentajes de las formulaciones fueron definidas para el diseño experimental del método de superficie de respuesta aplicado.

Tabla 5: Formulación de chocolate oscuro a diferentes porcentajes de cacao

Ingredientes	60	70	80
Pasta de cacao	58,0	58,0	58,0
Azúcar blanca Refinada	39,6	29,6	19,6
Manteca de cacao	2,0	2,0	2,0
Cocoa en polvo	0,0	10,0	20,0
Lecitina de soya	0,4	0,4	0,4
Total	100,0	100,0	100,0

Tabla 6: Mezclas de cacao en porcentaje

Tratamiento	Nacional (porcentaje)	CCN 51 (porcentaje)
1	90	10
2	80	20
3	70	30

Para la elaboración del chocolate oscuro se realizaron las siguientes operaciones:

a. Limpieza

A la masa de granos de los dos varietales de cacao que fueron utilizados para hacer las mezclas ensayadas, se realizó la separación de contaminantes que pueden generar peligro para la salud del consumidor, deficiencias en la calidad del producto final y daño en los equipos, estos contaminantes pueden ser piedras, tornillos, polvos, cuerdas, excrementos de animales, residuos químicos de herbicidas y plaguicidas (Lares *et al.* 2012).

b. Tostado

El proceso de tostado de 30 minutos a 140 °C de temperatura se realizó en un horno de gas con tambor giratorio, con capacidad de 50 kg. Lares *et al.* (2012), reportan que el tostado a 150 °C baja significativamente la acidez y que lo óptimo se obtuvo a 135 °C por 30 minutos.

c. Descascarillado

El descascarillado consistió en eliminar la testa que cubre el grano en una máquina rompedora y de tamizado. Liendo (2005), reportó abertura de tamices utilizados en este tipo de máquinas de 0,04; 0,06; 0,08 y 0,1 mm. En el descascarillado se puede determinar el porcentaje de testa que para los materiales en estudio fue de $16,19 \pm 0,49$ para cacao Nacional y de $12,33 \pm 0,34$ para cacao CCN 51.

d. Molido

Se obtuvo licor de cacao al moler la granilla en una sola pasada utilizando un molino de rodillos, que fue colocado luego en recipientes rotulados y almacenados. Liendo (2005) reportó dos pasadas de la granilla de cacao en un molino de bolas, para alcanzar un 90 por ciento de finura en la primera molida y en la segunda molida un 99 por ciento.

e. Obtención de manteca de cacao y cocoa

La obtención de manteca de cacao se realizó en frío utilizando una prensa mecánica, obteniéndose después de un proceso de molienda la cocoa, o polvo de cacao; ambos subproductos fueron empacados en recipientes rotulados.

f. Refinado y conchado

Con el refinado y el conchado se redujo el tamaño de partículas a un rango de 19,67 a 24,67 micras, utilizando una conchadora experimental con capacidad para 4,5 kg. Se procesó un kg de la formulación de chocolate por cada uno de los tratamientos ensayados según diseño

experimental, en un tiempo de 24 horas. Al inicio del refinado se agregó el azúcar y la lecitina de soya.

g. Temperado del chocolate

Se realizó el temperado en una tabla de mármol al esparcir en ella con una espátula los dos tercios del producto del conchado que estuvo a 45 °C. Con la misma espátula se continúa removiendo constantemente hasta bajar la temperatura a 28,8 °C, para después mezclarlo con el tercio faltante consiguiéndose una temperatura de 30,8°C hasta 32,0 °C, quedando listo para el moldeado.

h. Moldeado de chocolate

El chocolate temperado se colocó en moldes cuyas cavidades tuvieron una capacidad de 25 g aproximadamente, para después con ligeros golpes de los moldes contra la mesa se logró una distribución uniforme y se retiró las burbujas de aire contenido, seguidamente fueron colocados en el congelador (-18°C) por 15 minutos, y después se retiró la tableta de chocolate del molde.

i. Almacenado

A continuación del desmoldado para una buena conservación del chocolate se procedió a envolverlo en papel aluminio y después se lo guardó en fundas de plástico y aluminio con cierre hermético para almacenarlos a temperatura 19 a 20 °C y 50-60 por ciento de humedad relativa.

3.5.3. Etapa 3: Determinación de propiedades físicas de los chocolates

Después del conchado parte de la masa (pasta) de chocolate fue evaluada en sus parámetros reológicos: Viscosidad de Casson y Valor mínimo de Casson, para lo cual se le sometió a calentamiento en una estufa a 60 °C por una hora y después fue colocada en el reómetro marca BROOKFIELD® DV3T, donde se mezcló a 40 °C por una hora para asegurar la destrucción de la historia del cristal (ICA 2000). Posterior al atemperado, empaçado y almacenado durante una semana, fueron evaluadas las siguientes propiedades:

a. Índice de blancura

El índice de blancura de las tabletas de chocolate fue medido usando el colorímetro Minolta CR-400, con el sistema de escala de color CIELAB. Todas las medidas fueron realizada a la luz del día. Se realizaron tres mediciones por unidad experimental (tomadas en posición de cuatro ángulos 0, 90, 180, y 270 grados) (Chire *et al.* 2017).

b. Tamaño de partícula

Se determinó utilizando el micrómetro marca MITUTOYO®, que es un medidor físico por contacto de las muelas con la particularidad que mide las partículas más grandes de la muestra. Se pesó un gramo de chocolate y se colocó en una placa Petri; posteriormente se le adicionó un mL de aceite girasol, se colocó en el horno de microondas por 20 segundos hasta que se derritiera para poder mezclar bien y colocar una gota en el micrómetro (Yachachin, 2023).

3.5.4. Etapa 4: Evaluación de propiedades físicas, fisicoquímicas y sensoriales del chocolate oscuro elaborado con fórmula óptima

Al chocolate elaborado con los niveles óptimos de las variables evaluadas se le determinó el tamaño de partícula, el índice de blancura, la viscosidad de Casson y el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson.

Para la determinación de proteína cruda, carbohidratos totales, grasa cruda, fibra, cenizas y humedad, se aplicó un análisis proximal (AOAC 2005).

El chocolate oscuro elaborado con la formulación óptima, fue calificado en cuanto a su aceptabilidad sensorial por consumidores, utilizando una escala lineal no estructurada de 10 cm. Se les pidió que probaran el chocolate para emitir su apreciación sobre las características del producto marcando sobre la línea con una “X” de acuerdo con el nivel de desagrado o agrado que va de 0 a 10 puntos. La tabla 7 muestra el modelo de la prueba que se utilizó el día de la evaluación del chocolate óptimo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONCEPTO DE PRODUCTO

En la actualidad todo producto que se diseñe y desarrolle con la finalidad de posicionarlo en el mercado, debe de tener las características que el consumidor requiere que estén presentes en él, para ello, es útil tener como punto de partida el concepto del producto, que definirá todo aquello que el mercado requiere. Para obtener este concepto se aplicó la técnica de *focus group* con especialistas y consumidores residentes en la provincia de Manabí, Ecuador, que es una de las principales regiones cacaoteras y de producción de chocolate. Los temas que se trataron fueron: producción, consumo, calidad, comercialización y preferencias del producto final. A los participantes se les explicó la idea de utilizar mezcla de granos de cacao para fabricar un chocolate con calidad sensorial a partir un cacao fino de aroma y uno de explotación extensiva de menor calidad y bajo costo.

En los siguientes párrafos se resume la información obtenida del *focus group*:

- Se debe resaltar que el producto utiliza material de cacao ecuatoriano, porque representa calidad, demanda nacional e internacional. El área en estudio es representativa en la investigación, vale la pena destacar que el tradicional cacao Nacional, también conocido como cacao “Arriba”, conlleva a posicionar al Ecuador como el primer exportador de cacao fino de aroma a nivel mundial.
- Debe mencionarse que el material que acompaña al cacao fino de aroma a través de la mezcla es el cacao CCN 51, el mismo que cumple con el aporte de grasa, función importante debido a sus características sensoriales de cacao corriente.
- Enfatizar que es un producto de calidad en base al cacao Nacional para exportar, con sabor natural y dulce.

El concepto del producto obtenido fue: “*chocolate oscuro de mezcla de cacao ecuatoriano fino de aroma con sabor natural y dulce*”, y es a partir de él se definió la formulación base del chocolate a elaborarse para los diferentes tratamientos según el diseño experimental aplicado.

4.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL GRANO DE CACAO

4.2.1. Índice de grano

El índice de grano (IG) tiene relevancia en la definición del valor de la temperatura y del tiempo de tostado. La Tabla 8 presentan los valores obtenidos para los dos varietales ensayados, el cacao Nacional ($1,24 \pm 0,04$) y CCN 51 ($1,50 \pm 0,02$), que resultan ser inferiores a los granos de cacao reportados en Ecuador (Vera *et al.* 2014) y que según la clasificación de calidad de cacao relacionada al índice de grano (INEN 2006), el cacao Nacional tiene la clasificación ASS (*Arriba Superior Selecto*) (120-125) porque tiene un valor de 124 g de peso en 100 granos de cacao; el grano de cacao CCN 51 mostró un valor en índice de grano superior al rango de la tabla, al tener 150 g de peso en 100 granos de cacao.

Tabla 8: Índice de grano del cacao Nacional y del CCN 51

Varietal	Media*
Nacional	$1,24 \pm 0,04^a$
CCN 51	$1,5 \pm 0,02^b$

*Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

4.2.2. Porcentaje de testa

El porcentaje de testa es importante para la industria de derivados de cacao, ya que en el momento del tostado migra grasa a esta con la pérdida correspondiente. Según la Tabla 9, los varietales de cacao Nacional ($16,19 \pm 0,49$ por ciento) y CCN 51 ($12,33 \pm 0,34$ por ciento) presentan valores que son mayores a los reportados para cacao comercial ecuatoriano (11,3 – 15,5 por ciento), que corresponden a las regiones ecuatorianas de Lago Agrio y Santo Domingo, respectivamente (Alegría 2015).

Tabla 9: Porcentaje de testa del grano de cacao Nacional y del CCN 51

Varietal	Media* (porcentaje)
Nacional	16,19 ± 0,49 ^b
CCN 51	12,33 ± 0,34 ^a

* Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística significativa (p<0,05).

4.2.3. Dimensiones de grano

El promedio de los granos seleccionados en las tres dimensiones, que son: largo, ancho y espesor, no muestran diferencias estadísticas significativas (Tabla 10).

Tabla 10: Dimensiones del grano de cacao Nacional y del CCN 51

Varietal	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Nacional	21,96 ± 0,13 ^a	12,32 ± 0,17 ^a	8,19 ± 0,09 ^a
CCN 51	22,45 ± 0,32 ^a	12,59 ± 0,39 ^a	8,24 ± 0,36 ^a

*Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística significativa (p<0,05)

En investigación realizada con cacao peruano ICS 6 y CCN 51 se observa que los valores son mayores en las tres dimensiones que fueron medidas como podemos observar: ICS 6 largo 23,39 mm, ancho 12,82 mm y espesor 9,32 mm, igual ocurre con el CCN 51 que es originario de Ecuador pero cultivado en la selva peruana, donde: largo 24,97 mm, ancho 13,80 mm y espesor 9,78 mm, esta diferencia debe estar asociada a las condiciones climáticas que son diferentes donde se cultiva los materiales de Ecuador a las condiciones climáticas de la selva Peruana (Andrade *et al.* 2019).

4.2.4. Porosidad del grano de cacao

Los valores de porosidad de los granos de cacao Nacional y CCN 51 que se presentan en la Tabla 11, en cacao nacional y CCN 51, se dieron valores de 0,64 ± 0,04 y 0,54 ± 0,01, respectivamente, siendo diferentes estadísticamente (p<0,05); sin embargo, el cacao Nacional es similar a lo reportado por Rivera (2018). Como la porosidad tiene una relación directamente proporcional con el índice de fermentación, puede explicarse la menor

porosidad del CCN 51 ecuatoriano al ser su índice de fermentación menor a los otros granos en estudio (Rivera 2018).

Tabla 11: Porosidad del cacao Nacional y del CCN 51

Varietal	Media* (porcentaje)
Nacional	0,64 ± 0,04 ^b
CCN 51	0,54 ± 0,01 ^a

*Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística significativa (p<0,05).

4.2.5. Índice de fermentación

La Tabla 12 presenta los valores de índice de fermentación del cacao Nacional (77,66 ± 1,33 por ciento) y del CCN 51 (58,86 ± 1,45 por ciento), para 72 y 144 horas de fermentación, respectivamente (Anexo 2). Según Jiménez *et al.* (2014) valores bajos de índice de fermentación pueden resultar por condiciones climáticas reinantes durante los procesos de fermentación y secado del grano, como es lo que aconteció durante el desarrollo de estos procesos con lluvias constantes, lo que obligó a tener un secado a la sombra. En el caso del cacao Nacional, Bravo y Mingo (2011) y Ruiz *et al.* (2015), reportaron valores similares para 96 horas de fermentación en cajas de madera (70 por ciento a 90 por ciento) y para 120 horas en sacos de polipropileno y de yute (70 por ciento y 80 por ciento).

En una investigación realizada en Perú, se muestran valores de fermentación de cacao ICS 6 de 74,64 por ciento, siendo valores muy cercanos con el cacao Nacional de esta investigación y de CCN 51 de 80,68 por ciento existiendo una diferencia marcada con el cacao CCN 51 de Ecuador (Andrade *et al.* 2019).

Tabla 12: Índice de fermentación del cacao Nacional y del CCN 51

Varietal	Casos	Media* (porcentaje)
Nacional	3	77,66 ± 1,33 ^b
CCN 51	3	58,80 ± 1,45 ^a

*Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística significativa (p<0,05)

Según la tabla de clasificación de calidad de cacao de Ecuador (INEN 2006), relacionada al índice de fermentación, el grano de cacao Nacional utilizado en esta investigación tiene la clasificación ASSS (*Arriba Superior Summer Selecto*) al alcanzar el $77,66 \pm 1,33$ por ciento comparado con el total mínimo de 75 por ciento. El grano de cacao CCN 51 al alcanzar un índice de fermentación de $58,80 \pm 1,45$ por ciento, menor al valor mínimo, estaría con una calificación de calidad por debajo del cacao Nacional.

4.2.6. Índice de blancura

La tabla 13 muestra los valores de índice de blancura (IB) obteniéndose para el cacao Nacional $31,40 \pm 0,22$ y para el CCN 51 $31,40 \pm 0,24$, no habiendo diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellos. Rivera (2018) reporta un valor mayor ($34,73 \pm 2,38$) como índice de blancura del CCN 51 peruano. En el proceso tecnológico los granos de cacao pasan por operaciones unitarias que contribuyen a incrementar el color oscuro (reacción de Maillard), tales como tostado y conchado; por lo tanto, se estima que los granos de cacao bajen sus valores de IB en el procesamiento para obtener chocolate. En otra investigación realizada en Perú indican valores de cacao ICS 6 de $25,87 \pm 0,32$ y para CCN 51 cultivado en Perú es de $28,93 \pm 0,38$ lo que los hace de un color oscuro (Andrade *et al.* 2019). Estos no son un limitante en la calidad del chocolate que elabore la industria ni para el cliente que lo consume.

Tabla 13: Índice de blancura del cacao Nacional y del CCN 51

Varietal	Media* (porcentaje)
Nacional	$31,4 \pm 0,22^a$
CCN 51	$31,4 \pm 0,24^a$

*Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

4.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL GRANO DE CACAO

4.3.1. Análisis proximal

Según la Tabla 14, no se encuentran diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los valores de humedad, grasa cruda, carbohidratos totales y fibra cruda de los granos de cacao Nacional y CCN 51, y sí hay diferencias en proteína cruda y cenizas. Rivera (2018), reporta para el CCN 51 peruano valores de humedad ($7,07 \pm 0,33$ por ciento), proteína cruda ($15,81 \pm 0,11$ por ciento), grasa cruda ($51,61 \pm 0,07$ por ciento), cenizas ($2,54 \pm 0,03$ por ciento),

carbohidratos totales ($16,83 \pm 0,31$ por ciento) y fibra cruda ($6,13 \pm 0,16$ por ciento), siendo solo el contenido de carbohidratos totales menor al del CCN 51 ecuatoriano.

En la Tabla 14 se observa que existen diferencias estadísticas en los valores de proteína cruda de ambos varietales ecuatorianos, que son mayores en el cacao Nacional (8,6) y de CCN 51 (8,08), existiendo una diferencia de 0,52 por ciento y en el contenido de cenizas es mayor en el cacao CCN 51 con un valor de 2,73 y cacao Nacional con un valor de 2,23; existiendo una diferencia de 0,50 por ciento.

Tabla 14: Análisis proximal del cacao Nacional y cacao CCN 51 (porcentaje)

Varietal	Humedad	Proteína cruda	Grasa cruda	Cenizas	Carbohidratos totales	Fibra cruda
Nacional	$6,03 \pm 0,10^a$	$8,60 \pm 0,20^a$	$50,87 \pm 0,19^a$	$2,23 \pm 0,08^b$	$32,28 \pm 0,46^a$	$4,64 \pm 0,47^a$
CCN 51	$6,00 \pm 0,09^a$	$8,08 \pm 0,25^b$	$51,02 \pm 0,24^a$	$2,73 \pm 0,08^a$	$32,17 \pm 0,11^a$	$4,28 \pm 0,01^a$

*Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

4.3.2. Potencial de hidrógeno - pH

Como se observa en la Tabla 15, existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los valores de pH de los varietales en estudio, estos valores son similares a los reportados para el grano de cacao porcelana venezolano de 5,12 y 5,23 para tres y cuatro días de fermentación, respectivamente (Portillo *et al.* 2007). En otra investigación realizada en Brasil, se reportan valores en un rango de 5,2 a 6,3 (Loureiro *et al.* 2017).

En investigación realizada en Perú se reportan datos de pH en cacao ICS 6 y cacao CCN 51 de 4,94 y 5,15 respectivamente, que son valores cercanos a los obtenidos en cacao Nacional y CCN 51 de Ecuador (Andrade *et al.* 2019).

Tabla 15: Valores de pH del cacao Nacional y del CCN 51

Varietal	Media*
Nacional	$5,17 \pm 0,04^a$
CCN 51	$5,36 \pm 0,01^b$

*Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

En cuanto a los valores de pH de cacao Nacional tiene un valor de 5,17 y CCN 51 de 5,36 por ciento, existiendo una diferencia de 0,19 lo que ubica a este último con mayor porcentaje.

4.3.3. Acidez titulable

La Tabla 16 presenta los valores de acidez titulable, expresado como porcentaje de ácido acético del cacao Nacional ($0,82 \pm 0,03$ por ciento) y CCN 51 ($0,61 \pm 0,03$ por ciento), siendo diferentes estadísticamente ($p < 0,05$). Ortiz *et al.* (2009), reportó valores similares (0,65 por ciento) para cacao del estado venezolano de Aragua y; Rivera (2018) reportó 0,47 por ciento de acidez para cacao CCN 51 peruano.

En una investigación realizada en Perú, el cacao ICS 6 mostró valores de acidez de $2,49 \pm 0,05$ y el cacao CCN 51 valores de $2,05 \pm 0,09$, lo que da una diferencia con relación a los valores de esta investigación (Andrade *et al.* 2019).

Tabla 16: Acidez total (porcentaje de ácido acético) del cacao Nacional y CCN 51

Varietal	Media*
Nacional	$0,82 \pm 0,03^b$
CCN 51	$0,61 \pm 0,03^a$

*La desviación estándar seguida de letras distintas en la misma columna es significativamente diferente ($P < 0,05$).

En cuanto a los valores de acidez de cacao Nacional tiene un valor de 0,82 y CCN 51 de 0,61 por ciento, existiendo una diferencia de 0,21 lo que ubica a este último con menor porcentaje.

4.4. CARACTERIZACIÓN DE CHOCOLATE OSCURO DE CADA TRATAMIENTO

4.4.1. Tamaño de partículas

El tamaño de partículas en los diferentes tratamientos del chocolate estuvo entre 19,67 a 24,67 micras (Anexo 3), con un promedio de 21,41 que es un tamaño esperado como se puede observar en la (Tabla 17). Afoakwa (2010), en una investigación realizada en Ghana, reportó tamaños de partículas en un rango de 18 a 25 micras. Afoakwa *et al.* (2007), mencionan que partículas de chocolate mayores a 30 micras son percibidas como textura arenosa.

Valverde (2019), en la determinación del tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate oscuro con 60 por ciento de cacao aplicando el método Variación No Significativa en Cinética, reportó que en 20 horas se redujo el tamaño de partícula de 274,11 a 21,67 micras valor final próximo a lo encontrado en esta investigación para las mezclas R2-60 y R2-80 (Tabla 17). Para el proceso con el tiempo optimizado de 16 horas reportó $25,50 \pm 0,71$ micras; valor final próximo a lo encontrado en esta investigación para las mezclas R1-60 (Tabla 17).

Tabla 17: Tamaño de partícula en micras de chocolate oscuro por tratamiento

Tratamientos	Tamaño de partículas (micra)
R1-80	$19,67 \pm 2,08^d$
R3-80	$20,00 \pm 2,00^{cd}$
R2-70	$20,33 \pm 0,58^{cd}$
R3-60	$20,67 \pm 1,00^{bcd}$
R2-60	$21,00 \pm 0,58^{bcd}$
R2-80	$21,67 \pm 1,53^{bcd}$
R1-70	$22,00 \pm 0,58^{bc}$
R3-70	$22,67 \pm 1,53^{ab}$
R1-60	$24,67 \pm 0,00^a$

R1= Mezcla 90 por ciento cacao Nacional – 10 por ciento CCN 51; R2= Mezcla 80 por ciento cacao Nacional – 20 por ciento CCN 51; R3= Mezcla 70 por ciento cacao Nacional – 30 por ciento CCN 51.

*La desviación estándar seguida de letras distintas en la misma columna es significativamente diferente ($P < 0,05$).

4.4.2. Índice de blancura - IB

Los valores de IB obtenidos estuvieron en un rango de $25,65 \pm 0,31$ a $30,46 \pm 0,22$ (Tabla 18, Anexo 4), siendo el menor valor para R2-80 y el mayor para R1-60. Valores similares fueron reportados por Chire *et al.* (2017) para chocolates oscuros comercializados en Perú ($27,12 \pm 0,20$ a $29,72 \pm 0,26$); valores que no son un limitante en la calidad del chocolate que elabora la industria ni tampoco para el cliente que lo consume. Valores menores de IB indican un chocolate de color más oscuro, valores altos indican un chocolate de color más claro.

Daza (2017), determinó la cinética de eflorescencia grasa de dos tipos de chocolates oscuros peruanos, elaborados con diferentes cantidades de pasta de cacao, manteca de cacao, azúcar y lecitina de soya. Dieciocho muestras de chocolate con 45 por ciento de sólidos de cacao presentaron valores mínimo y máximo de 28,4 y 32,0 con una media y desviación estándar de $29,31 \pm 0,9$; las otras 18 muestras de chocolate con 70 por ciento de sólidos de cacao presentaron valores mínimo y máximo de 27,0 y 31,2, con una media y desviación estándar de $28,35 \pm 0,96$. Estos valores de índice de blancura son similares a lo reportado por Chire *et al.* (2017) y a los obtenidos en esta investigación con mezcla de granos ecuatorianos.

Monteali (2023) estimó el tiempo de vida útil de dos tipos de chocolates oscuros sin empaque con 70 por ciento de cacao, tomando como factores de calidad: la eflorescencia grasa (índice de blancura) y la ganancia de humedad. Los chocolates evaluados, de Cusco y de San Martín, tuvieron al inicio del experimento 27,05 y 27,82 de índice de blancura; valores cercanos a los obtenidos en esta investigación para las mezclas R1-70 y R1-80 (Tabla 18).

Tabla 18: Índice de blancura de chocolate oscuro

Tratamiento	Índice de blancura (I.B.)
R2-80	$25,65 \pm 0,31^e$
R3-80	$25,68 \pm 0,27^e$
R3-70	$26,16 \pm 0,09^e$
R2-70	$26,34 \pm 0,38^e$
R1-80	$27,48 \pm 0,51^d$
R1-70	$27,92 \pm 0,94^{dc}$
R3-60	$28,67 \pm 0,19^{cb}$
R2-60	$29,13 \pm 0,62^b$
R1-60	$30,46 \pm 0,22^a$

R1= Mezcla 90 por ciento cacao Nacional – 10 por ciento CCN 51; R2= Mezcla 80 por ciento cacao Nacional – 20 por ciento CCN 51; R3= Mezcla 70 por ciento cacao Nacional – 30 por ciento CCN 51.

*La desviación estándar seguida de letras distintas en la misma columna es significativamente diferente (P<0,05).

4.4.3. Reología

Es parte de la mecánica que estudia la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia (Ramírez 2006). En esta investigación se realizó la medición de la reología de los diferentes tratamientos de chocolates en términos de la viscosidad de Casson y esfuerzo mínimo de

fluencia de Casson (*yields stress*) (Tabla 19, Anexo 5). Se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de cacao en el chocolate oscuro disminuyen los valores de viscosidad y de esfuerzo mínimo de Casson. Para obtener estos resultados se colocó la muestra de chocolate en un vaso de precipitación para derretirla a 60 °C por 60 minutos en una estufa. Después de realizar el cálculo de acuerdo a la densidad del chocolate se determinó que se debía pesar 12,47 gramos que es el equivalente a 10 mL; muestra que se colocó en el viscosímetro que mantuvo una temperatura constante de 40 °C para mantener derretido el chocolate durante la medición a una velocidad de rotación ascendente y otra descendente (0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10; 15; 20 y 20; 15; 10; 5,0; 2,5; 1,0; 0,5 rpm). Antes de iniciar la medición para cada velocidad programada se hizo una homogenización de la muestra a 20 rpm por 20 segundos.

Tabla 19: Valores de viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia (*yields stress*) de Casson en tratamientos de chocolate oscuro con cacao ecuatoriano

Tratamiento	Viscosidad de Casson (Pa.s)	<i>Yields stress</i> (Pa) de Casson
R1-60	2,58 ± 0,02 ^c	17,66 ± 3,55 ^d
R1-70	3,33 ± 0,21 ^d	13,46 ± 0,80 ^c
R1-80	4,60 ± 0,06 ^e	10,91 ± 0,98 ^b
R2-60	3,28 ± 0,13 ^d	15,86 ± 0,06 ^d
R2-70	2,73 ± 0,02 ^c	15,93 ± 0,48 ^d
R2-80	1,35 ± 0,04 ^a	5,54 ± 0,10 ^a
R3-60	2,05 ± 0,04 ^b	9,82 ± 0,13 ^b
R3-70	1,52 ± 0,04 ^a	6,56 ± 0,05 ^a
R3-80	1,27 ± 0,06 ^a	5,83 ± 0,0 ^a

R1= Mezcla 90 por ciento cacao Nacional – 10 por ciento CCN 51; R2= Mezcla 80 por ciento cacao Nacional – 20 por ciento CCN 51; R3= Mezcla 70 por ciento cacao Nacional – 30 por ciento CCN 51.

*La desviación estándar seguida de letras distintas en la misma columna es significativamente diferente (P<0,05).

Los valores observados de viscosidad de Casson (Tabla 19), se encuentran entre 1,27 ± 0,06 a 4,60 ± 0,06 Pa.s. Los valores observados mayores corresponden a la mezcla 90 por ciento de cacao Nacional y 10 por ciento de CCN 51, con 80 por ciento de cacao (R1-80), y los menores a la mezcla 70 por ciento de cacao Nacional y 30 por ciento CCN 51, con 80 por ciento de cacao (R3-80). Chire (2019), reportaron valores observados de viscosidad de Casson en un rango de 2,20 ± 0,03 a 3,57 ± 0,42 Pa.s para chocolates con mezclas de cacao

CCN 51 y ICS 6 peruanos; valores observados próximos a los obtenidos en esta investigación para la mezcla de granos de cacao ecuatorianos.

Benítez *et al.* (2016), reportaron para un chocolate producido en la Habana, Cuba, viscosidades aparentes entre 0,5 a 2,37 Pa.s; rango que incluye a las viscosidades encontradas obtenidas en esta investigación para la mezcla de granos de cacao ecuatorianos.

Aidoo *et al.* (2014) trabajaron chocolate oscuro al 51,6 por ciento de cacao y obtuvieron valores de viscosidad de Casson de $2,40 \pm 0,09$ Pa.s y $2,40 \pm 0,05$ Pa.s. Comparando estos valores con los de la tabla 19, estos son inferiores a los de las mezclas con 60 por ciento de cacao para las mezclas 90 por ciento de cacao Nacional y 10 por ciento de CCN 51 (R1-60) y 80 por ciento de cacao Nacional y 20 por ciento de CCN 51 (R2-60), y superiores al de la mezcla 70 por ciento de cacao Nacional y 30 por ciento de CCN 51 con 60 por ciento de cacao (R3-60).

Valverde (2019), en la determinación del tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate oscuro con 60 por ciento de cacao aplicando el método Variación No Significativa en Cinética, reportó que en 20 horas la viscosidad plástica se incrementó de 2,32 hasta 3,30 Pa.s; valor final mayor a los encontrados en esta investigación con cacao ecuatoriano (Tabla 19). Para el proceso con el tiempo optimizado de 16 horas reportó $3,18 \pm 0,06$ Pa.s; valor final próximo a lo encontrado en esta investigación para la mezcla R2-60 (Tabla 19).

Los valores observados del esfuerzo mínimo de Casson obtenidos están en un rango de $5,54 \pm 0,10$ a $17,66 \pm 3,55$ Pa (Tabla 19), correspondiendo los valores observados mayores a la mezcla 90 por ciento de cacao Nacional y 10 por ciento de cacao CCN 51, y los menores a la mezcla 70 por ciento de cacao Nacional y 30 por ciento de cacao CCN 51; datos que se corresponden con los de viscosidad. En Perú los valores observados del esfuerzo mínimo de Casson de mezclas de cacao están en un rango de $8,45 \pm 0,22$ a $25,19 \pm 2,32$ Pa (Chire 2019).

Aidoo *et al.* (2014) trabajaron chocolate oscuro al 51,6 por ciento de cacao y obtuvieron valores de esfuerzo mínimo de fluencia de Casson de $10,24 \pm 0,14$ Pa y $10,15 \pm 0,67$ Pa, que están dentro del rango obtenido para las distintas mezclas y porcentajes de cacao (Tabla 19) en esta investigación con cacao ecuatoriano ($5,54 \pm 0,10$ a $17,66 \pm 3,55$ Pa).

Dwi *et al.* (2019) obtuvieron valores para distintas formulaciones (pasta de cacao, manteca de cacao, cocoa en polvo), contenidos de cacao (51,6 - 51,8 por ciento) y de grasa (33 – 36 por ciento) y obtuvieron valores de esfuerzo mínimo de fluencia de Casson de $3,47 \pm 0,06$ Pa y $13,13 \pm 0,48$ Pa, que están próximos a lo obtenido para las distintas mezclas y porcentajes de cacao (tabla 19) en esta investigación con cacao ecuatoriano ($5,54 \pm 0,10$ a $17,66 \pm 3,55$ Pa).

Valverde (2019), en la determinación del tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate oscuro con 60 por ciento de cacao aplicando el método Variación No Significativa en Cinética, reportó que en 20 horas el esfuerzo mínimo de fluencia se incrementó de 4,57 hasta 19,46 Pa; valor final próximo a lo encontrado en esta investigación para las mezclas R1-70 y R2-60 (Tabla 19). Para el proceso con el tiempo optimizado de 16 horas reportó $17,45 \pm 0,49$ Pa; valor final próximo a lo encontrado en esta investigación para la mezcla R1-60 (Tabla 19).

4.5. OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA ÓPTIMA DE CHOCOLATE OSCURO

4.5.1. Valores de propiedades físicas obtenidas en la optimización

Mediante el método de superficie de respuesta para un arreglo factorial 3^2 , se obtuvo los niveles de los factores mezcla de cacao y porcentaje de cacao en el chocolate que hacen mínimo los valores de la viscosidad y esfuerzo de fluencia de Casson, el índice de blancura y el tamaño de partícula en las formulaciones ensayadas (Tablas 17, 18 y 19), siendo estos niveles de factores y valores de las propiedades físicas los que se presentan en la Tabla 20 y que están en gráficas de la Figura 7. El análisis de variancia, el coeficiente de regresión y el error estándar del estimado de las ecuaciones de regresión, así como las figuras de la superficie de respuesta y de sus correspondientes contornos, se presentan en el Anexo 6.

Tabla 20: Niveles de mezcla y de porcentaje de cacao del chocolate oscuro que hacen mínimo los valores de viscosidad y esfuerzo de fluencia de Casson, índice de blancura y tamaño de partícula

Propiedad física	Niveles de mezcla de cacao	Porcentaje de cacao	Valor mínimo
Viscosidad de Casson (Pa.s)	70-30	80	1,16
Esfuerzo mínimo de fluencia de Casson (Pa)	70-30	80	4,15
Índice de blancura	74-26	78	25,46

Chire (2019), reportó como formulación óptima para un valor mínimo de viscosidad de Casson (2,28 Pa.s) la mezcla de 10 por ciento de CCN 51 y 90 por ciento de ICS 6, para un chocolate oscuro con 70 por ciento de contenido de cacao, 39,6 por ciento y 0,4 por ciento de lecitina; valor que es mayor al obtenido para la fórmula óptima de la mezcla ecuatoriana de esta investigación (1,16 Pa.s) correspondiente a la mezcla de 70 por ciento de Nacional y 30 por ciento de CCN 51, para un chocolate con 80 por ciento de cacao. Este valor también resulta menor y próximo al rango reportado por Dwi *et al.* (2019), quienes obtuvieron valores de $1,29 \pm 0,05$ y $3,09 \pm 0,01$ Pa.s para distintas formulaciones (pasta de cacao, manteca de cacao, cocoa en polvo), contenidos de cacao (51,6 - 51,8 por ciento) y de grasa (33 - 36 por ciento).

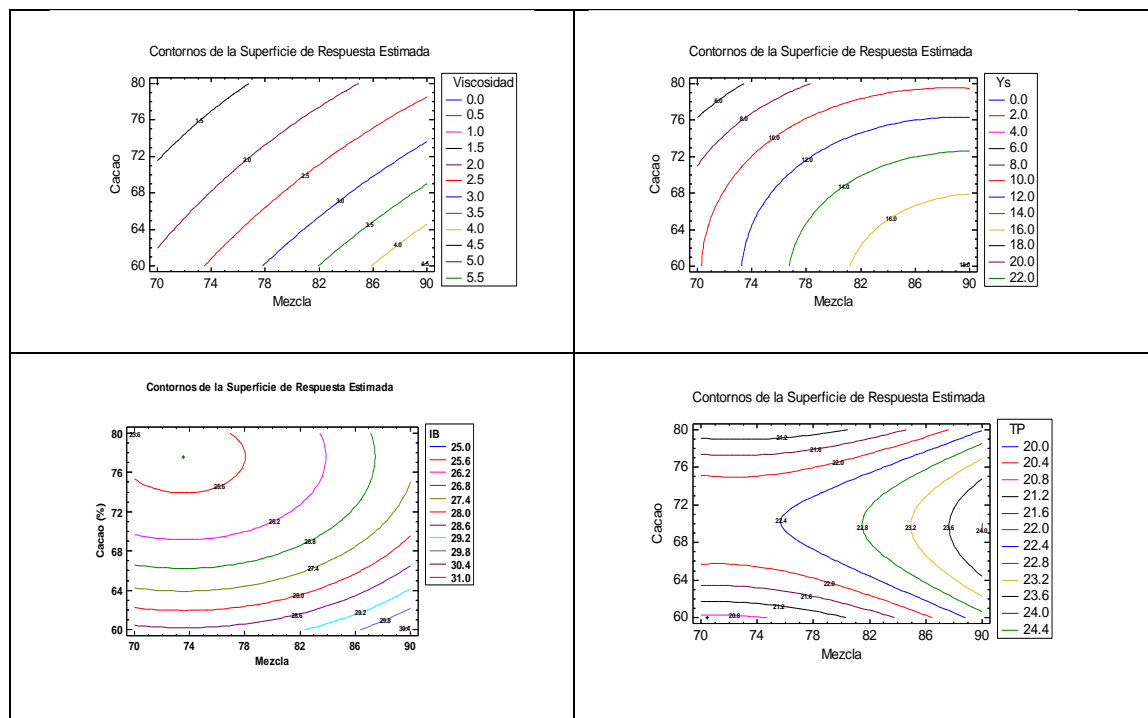


Figura 7: Diagramas de contorno de viscosidad, esfuerzo mínimo de fluencia, índice de blancura y tamaño de partícula

Chire (2019), reportó un valor mínimo de esfuerzo de fluencia de Casson de 7,73 Pa, para una formulación óptima de un chocolate oscuro al 70 por ciento de cacao (mezcla 10:90, CCN 51:ICS 6); 29,6 por ciento de azúcar y 0,4 por ciento de lecitina; valor que es mayor al obtenido para la fórmula óptima de la mezcla ecuatoriana de esta investigación (4,15 Pa) para la mezcla (70:30, Nacional: CCN 51) para un chocolate con 80 por ciento de cacao.

Este valor también resulta menor al reportado por Aidoo *et al.* (2014) para chocolates con 51,6 por ciento de cacao ($10,24 \pm 0,14$ Pa) y a los reportados por Dwi *et al.* (2019) para chocolates con 51,6 – 51,8 por ciento de cacao ($3,47 \pm 0,06$; $13,13 \pm 0,48$ Pa).

4.5.2. Fórmula óptima de chocolate oscuro

Aplicando el procedimiento estadístico de optimización de múltiples respuestas del programa estadístico Statgraphics[®], con el que se logra el máximo valor de la función deseabilidad para obtener la mejor combinación de factores (Tabla 21) y que se grafica en la Figura 8, se obtuvo este en la ejecución 16, con un grado de deseabilidad D_4 de 0,96 (Anexo 7), considerando la minimización de las cuatro propiedades físicas evaluadas (Tabla 20).

Tabla 21: Valores de viscosidad y esfuerzo de fluencia de Casson, índice de blancura y tamaño de partícula, estimados para un grado de deseabilidad de 0,96 en la determinación de niveles óptimos de mezcla y porcentaje de cacao en chocolate oscuro

Propiedad física	Valor para la optimización	Niveles óptimos de mezcla de cacao (porcentaje)	Nivel óptimo de cacao (porcentaje)
Viscosidad de Casson (Pa.s)	1,21		
Esfuerzo mínimo de fluencia de Casson (Pa)	5,24	71,75 Nacional 28,25 CCN 51	80
Índice de blancura	25,54		
Tamaño de partícula (micra)	20,92		

La formulación óptima de chocolate oscuro para 0,96 de deseabilidad tiene 71,75 por ciento de cacao Nacional y 28,25 por ciento de cacao CCN 51, para un 80 por ciento de contenido de cacao (Tabla 21), siendo cercana al tratamiento R3-80 si se aproximan estos valores a los de la mezcla 70 y 30 por ciento de cacao Nacional y CCN 51, respectivamente. Según Lazic (2004) citado por Bacio (2007), le correspondería a tal formulación un calificativo de “Muy bueno”, que corresponde a un producto aceptable y excelente, con calidad o desempeño inusual, es mejor que lo disponible comercialmente.

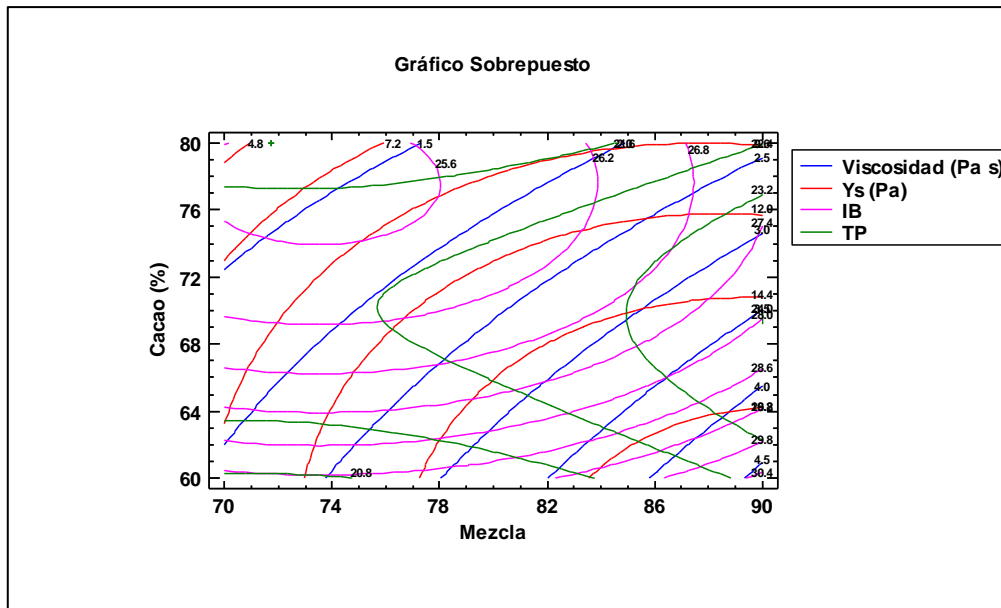


Figura 8: Diagramas de contornos superpuestos de viscosidad, esfuerzo mínimo de fluencia, índice de blancura y tamaño de partícula

Chire (2019) obtuvo para una formulación óptima con mezcla de cacao peruano conformada por 90 por ciento de ICS 6 y 10 por ciento de CCN51, con 69,71 por ciento de contenido de cacao una deseabilidad de 0,64, correspondiéndole un calificativo de “bueno” según Lazic (2004), citado por Bacio (2007); valor menor que la deseabilidad de 0,96 obtenida para el chocolate oscuro en esta investigación (Tabla 21).

4.6. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SENSORIAL DEL CHOCOLATE ELABORADO CON LA FÓRMULA ÓPTIMA

Se elaboró chocolate oscuro con la fórmula óptima: 80 por ciento de cacao, que fue una mezcla de 70 por ciento de cacao nacional y 30 por ciento de CCN 51; 19,6 por ciento de azúcar, y 0,4 por ciento de lecitina de soja; fórmula que tiene 9,89; 46,81; 2,83; 2,35; 38,12 y 2,5 por ciento de proteína cruda, grasa cruda, humedad, ceniza, carbohidratos totales y fibra cruda, respectivamente, los que son cercanos a los publicados por Sol *et al.* (2016), que reportan para chocolates amargos 23,49 a 48,19 por ciento de grasa, 8,75 por ciento de proteína, 2,60 a 4,46 por ciento de ceniza y de 1,64 a 1,97 por ciento de humedad.

El chocolate oscuro elaborado con la formulación óptima fue calificado en cuanto a su aceptabilidad sensorial por 150 consumidores (Tabla 22), en su mayoría jóvenes estudiantes universitarios, profesores, nacionales y extranjeros, donde 104 fueron mujeres. La prueba

consistió en explicarle a los participantes que debían probar el chocolate para hacer una apreciación de las características del producto y marcar sobre la línea con una “X” de acuerdo al nivel de agrado o desagrado que va de 0 a 10 puntos. El 80,67 por ciento de los consumidores puntuaron más de siete (Tabla 22), correspondiendo una media y una desviación estándar de $8,57 \pm 1,71$; lo que es muy significativo para un nuevo producto.

Tabla 22: Valores de análisis sensorial del chocolate elaborado con la fórmula óptima

	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S
Jueces	25			50			75			100			125			150		
1	10	20	M	9.5	27	M	9.5	25	M	6.8	21	F	8	22	F	10	29	F
2	9.8	22	F	10	25	M	7.2	19	M	5.5	30	F	10	21	M	9.8	23	F
3	9.8	19	F	5.7	26	F	7	37	F	9.8	24	F	5.1	22	F	9.5	26	F
4	9.8	30	M	5	23	F	10	21	F	7.7	37	F	9.5	25	F	9	21	M
5	9.5	32	F	9.8	22	F	9.8	22	F	9	25	F	9.5	33	F	9.8	56	F
6	10	28	F	9.5	24	F	9	25	F	10	32	F	5	22	M	9.7	23	M
7	9.3	21	F	9	22	F	10	22	F	5.3	18	M	5.3	22	M	9.7	24	M
8	9.8	65	F	9.8	24	M	7.5	21	M	9.5	23	M	9.5	24	M	10	21	M
9	9.8	22	F	9.8	32	M	7.5	21	M	10	22	F	9.2	30	M	8.9	22	F
10	5.5	20	M	8	50	F	7.5	20	F	10	34	F	9.5	21	F	8.8	21	M
11	9.8	22	F	5	33	F	9.5	21	F	9.5	19	M	9.5	22	F	8.8	21	F
12	9.5	21	F	5.2	19	M	10	22	F	9.5	23	M	9	22	F	9	24	M
13	5.7	22	F	8.8	26	F	10	24	F	4.5	20	F	9.2	30	F	9	24	F
14	7.7	23	F	8.3	28	M	5	21	F	9.2	29	M	9.5	22	F	9.6	24	F
15	9.9	21	M	10	29	F	9.3	34	F	9.5	18	F	5.3	29	F	5	21	F
16	10	32	F	8.3	28	M	8.3	33	M	10	21	F	6.4	25	F	9.5	25	F
17	9.8	22	F	8.3	23	F	7.5	35	F	10	26	F	4.7	21	M	10	27	F
18	9.3	28	M	9.8	23	F	9.5	38	M	9.5	24	F	9.5	25	F	9.3	20	M
19	8.8	22	F	6	28	F	8.3	36	M	10	35	F	7.8	23	F	9	32	F
20	9.7	33	F	10	36	F	9.5	28	M	9.5	23	M	5	22	F	9.5	27	F
21	9.7	23	F	10	28	F	10	26	F	7.5	26	F	9.8	24	F	5.2	27	M
22	9.8	26	M	9.9	23	M	9.2	20	F	10	26	M	9.5	22	F	10	20	F
23	8.5	30	M	10	25	F	9.3	24	F	5.2	23	F	9.3	32	M	5	23	F
24	5.5	23	F	6.2	29	F	10	30	F	8	21	F	5.2	22	F	5.7	18	F
25	5	23	M	8.1	27	F	10	22	F	8.5	23	F	9.8	25	M	9.7	22	F

C = Calificación; E = Edad, S= Sexo.

Número total de jueces = 150 (104 mujeres, 46 hombres).

Calificación promedio = $8,57 \pm 1,71$.

V. CONCLUSIONES

1. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores de índice de grano, porosidad e índice de fermentación de los granos de cacao Nacional y CCN 51, los cuales fueron: $1,24 \pm 0,04$ y $1,50 \pm 0,02$ g de peso en 100 granos de cacao, $0,64 \pm 0,04$ y $0,54 \pm 0,01$, y $77,66 \pm 1,33$ y $58,86 \pm 1,45$, para 72 y 144 horas de fermentación; respectivamente.
2. No se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los porcentajes de humedad, grasa, carbohidratos y fibra del cacao Nacional y del CCN 51, los cuales fueron: $6,03 \pm 0,10$ y $6,00 \pm 0,0$; $50,87 \pm 0,19$ y $51,02 \pm 0,24$; $32,28 \pm 0,46$ y $32,17 \pm 0,11$; y $4,64 \pm 0,47$ y $4,28 \pm 0,01$; respectivamente. Sí se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los contenidos de proteína cruda y cenizas que fueron en porcentaje: $8,60 \pm 0,20$ y $8,08 \pm 0,25$; $2,23 \pm 0,08$ y $2,73 \pm 0,08$; respectivamente.
3. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores de pH y acidez total de los granos del cacao Nacional y del CCN-51, los cuales fueron: $5,17 \pm 0,04$ y $5,36 \pm 0,01$, y $0,82 \pm 0,03$ y $0,61 \pm 0,03$ por ciento de ácido acético; respectivamente.
4. Mediante la optimización de múltiples respuestas provenientes del método de superficie de respuesta aplicado para cada propiedad física evaluada (tamaños de partícula, índice de blancura, viscosidad y de umbral de fluencia) se determinó un grado de deseabilidad de 0,96 (96 por ciento) para el chocolate oscuro con 80 por ciento de cacao, constituido por la mezcla 70 por ciento de cacao Nacional y 30 por ciento de CCN 51.
5. La fórmula óptima del chocolate oscuro compuesta de 80 por ciento de cacao, 19,6 por ciento de azúcar y 0,4 por ciento de lecitina de soja, en una mezcla 70 por ciento de cacao Nacional y 30 de CCN 51, tuvo 9,89; 46,81; 2,83; 2,35; 38,12 y 2,5 por ciento de proteína cruda, grasa cruda, humedad, ceniza, carbohidratos totales y fibra cruda; respectivamente, y una aceptabilidad sensorial de 8,57 de una escala de 10 puntos.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar granos de cacao de otros cultivares del Ecuador y experimentar con diferentes proporciones de mezclas.
- Estudiar diferentes formas de utilizar el cacao fermentado y no fermentado para desarrollar productos de calidad sensorial, nutricional y funcional.
- Realizar estudios con productos naturales edulcorantes para reducir el porcentaje de azúcar utilizado en las fórmulas de chocolates.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aeschlimann, J.M., y Beckett, S.T. 2000. International inter-laboratory trials to determine the factors affecting the measurement of chocolate viscosity. *Journal of Texture Studies*, 31(5), 541–576. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2000.tb01019.x>
- Afoakwa, E; Paterson, A; Fowler, M. 2007. Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 18:290-298.
- Afoakwa, E. 2010. Industrial chocolate manufacture - processes and factors influencing quality. In *Chocolate science and technology*. (Ed: E. Afoakwa.), Wiley-Blackwell, Oxford, U.K. pp. 35-57.
- Aidoo, R.P., Afoakwa, E.O., & Dewettink, K. (2014). *Journal of Food Engineering*. Optimization of inulin and polydextrose mixtures as sucrose replacers during sugar-free chocolate manufacture-Rheological, microstructure and physical quality characteristics, 126, 35-42.
- Alegría, E. 2015. Evaluación de tratamientos previos al proceso de tostado de semillas de cacao para el diseño del área de producción de pasta de cacao (*Theobroma cacao*) Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador.
- Ali, A; Selamat, J; Che Man, YB; Suria, AM. 2001. Effect of storage temperature on texture, polymorphic structure, bloom formation and sensory attributes of filled dark chocolate. *Food Chemistry*, 72:491-497.
- Andrade, J; Rivera, J; Chire, G; Ureña O. 2019. Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4): 1-12.

- ANECACAO (Asociación Nacional de Exportadores e Industriales de Cacao del Ecuador). 2019. Sector exportador de cacao. Consultado el 14 de mayo del 2020. Disponible en: <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019-4.pdf>
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis of Association of AOAC International. Cocoa beans and its products. 18th Edition, Vol. II. Editors: William Horwitz and George W. Latimer, Jr. Maryland, USA. 25 pp.
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis of Association of AOAC International. 18th Edition, Volume II. Editors: W. Horwitz and G. W. Latimer, Jr. Maryland, USA.
- APPCACAO (Asociación Peruana de Productores de Cacao). 2012. Manual de control de calidad del cacao. Lima, Perú.
- Atares, L. sf, Determinación de la porosidad. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52102/20.%20Art%20C3%ADculo%20docente.%20Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20porosidad.pdf?sequence=1>
- Bacio, LV. 2007. Optimización multi-objetivo en el problema de metodología de superficie multi-respuesta. Tesis para obtener el grado de maestría en ciencias con especialidad en probabilidad y estadística. Centro de Investigación en matemáticas, A.C., Guanajuato.
- Batista, L. 2009. Guía Técnica El Cultivo del Cacao en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF. 250 p.
- Beckett, ST. 2002. La Ciencia del Chocolate. Ed Acribia. S/ed. Zaragoza España.
- Benítez, E; De Hombre, R; Núñez, M. 2016. Cambios en la reología del chocolate por adición de proteína de soya aislada. XII Conferencia Internacional sobre Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Palacio de las Convenciones, La Habana, Cuba. Junio 2016. Consultado el 14 de mayo del 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305221532_CAMBIOS_EN_LA_REOL

OGIA DEL CHOCOLATE POR ADICION DE PROTEINA DE SOYA AIS
LADA

- Bravo, N; Mingo, F. 2011. Valoración de tres métodos de fermentación y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma (*Theobroma cacao* L.) en la parroquia Panguintza del cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe. Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Loja, Ecuador.
- Chávez, G; Olaya, R; Maza, J. 2018. Costo de producción de cacao clonal CCN 51 en la Parroquia Bellamaria, Ecuador. Revista Universidad y Sociedad, 10(4):179-185. Epub 02 de septiembre de 2018. Consultado el 29 de septiembre del 2021. Disponible en:http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000400179&lng=es&tlng=es.
- Chire, G; Córdova, A. 2005. Mejoramiento de chocolate amargo para taza mediante el uso de licor de cacao. Ciencia e Investigación, 8(2):87-91.
- Chire, G; Hartel, R. 2011. Efectos de diferentes emulsificantes en el atemperado del chocolate oscuro. Ciencia e Investigación, 13(1):14-18.
- Chire, G; Orosco, P; Valdivia, R; Ureña, M. 2014. Determinación de las propiedades físicas, químicas y termofísicas de diferentes granos de cacao del Perú. CIBIA IX, 3(9):545-551.
- Chire, GC; Valdivia, RA; Orihuela, CA. y Ureña, MO. 2017. Assessment of physical and physicochemical quality of main chocolates traded in Peru. Acta Agronómica 66(2):164-171.
- Chire, GC. 2019. Mejora de propiedades físicas y su efecto en el contenido de ácidos grasos en el chocolate peruano aplicando superficie de respuesta. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. 158 p.

- Daza, A. 2017 “Cinética de eflorescencia grasa en dos tipos de chocolate oscuro peruano”. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. 230 p.
- Dick, W; Arjen, B. 2001. Alimentos elaborados basados en grasa. Rosenthal A. (Eds). Textura de los Alimentos, medida y percepción. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. 318 p.
- Dwi Saputro, A; Van de Walle, D; Antan Caiquo, B; Hinneh, M; Kluczykoff, M. y Dewettinck, K. 2019. Rheological behaviour and microstructural properties of dark chocolate produced by combination of a ball mill and a liquefier device as small scale chocolate production system. LWT - Food Science and Technology 100:10-19.
- El Comercio (nota de prensa) 2020. El cacao ecuatoriano se expande en el mercado local e internacional. Consultado el 14 de febrero del 2021. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/cacao-ecuatoriano-mercado-local-negocios.html>
- Enríquez, G. 1978. Notas sobre el cultivo de cacao. Instituto Interamericano de ciencias agrícolas (IICA). Costa Rica. 217-218 p.
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros). 2004. Guía técnica para el cultivo de cacao. Bogotá - Colombia. 187 p.
- García, L. 2010. Catálogo de Cultivares de cacao del Perú. Primera edición. 112 p.
- Gutiérrez, M. 2007. Manual: Prácticas de control de calidad de cacao en centro de acopio. Gobierno Regional de Piura. Programa de Desarrollo Rural Sostenible de la GTZ. Consultado el 14 de febrero del 2020. Disponible en: http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Prcticas_de_control_de_calidad_de_cacao.pdf
- ICA. 1988. Determination of moisture content of Cocoa and Chocolate products, Analytical method 26. CAOBISCO, rue Defacqz 1, B-1000 Bruxelles, Belgium. pp 486.

- ICA. 2000. Viscosity of cocoa and chocolate products. Analytical method 46, CAOBISCO, Bruxelles, Belgium.
- IICA Ecuador. 2007. Estudio de caso: Denominación de origen “Cacao Arriba”. Quito. Noviembre 2007. 37 p.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2016. NTP – ISO 1114:2016 Granos de cacao. Prueba de corte. Lima, Perú.
- INDECOPI. 2007. NTP 208.002 Chocolate - Requisitos. 3era Edición. Lima, Perú. 16 p.
- INEN. 2006. NTE 176:2006. Cacao en granos. Requisitos. Cuarta revisión.
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias - Estación Experimental Central de la Amazonía). 2009. Manual de cultivo de cacao para la Amazonia Ecuatoriana. Manual N°76. 43 p.
- INS. 2009. Tabla de Composición de Alimentos. 8va Edición. Lima. 119 p.
- Jiménez, A; Gutiérrez, G. 2001. Métodos para medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos. Alvarado & Aguilera (Eds). Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. 426 p.
- Jiménez, J; Amores, F; Solorzano, E. 2014. Componentes de identidad para reconocer las diferencias del cacao que se produce en varias regiones del Ecuador Estación Experimental Tropical Pichilingue. Boletín Técnico: 164. Consultado el 25 de abril del 2018. Disponible en:
<http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3561/1/iniapeetp-BT-164.pdf>
- Lardmond, E. 1977. Laboratory method for sensory evaluation of food. Ottawa, Canada. Food Research Institute Published 1637. Pp. 73.
- Lares, M; Gutiérrez, R; Pérez, E; Álvarez, C. 2012. Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca

- de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2):439-446.
- Liendo, R. 2005. Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos. Centro de investigaciones agrícolas. Maracay estado de Aragua. *INIA Divulga*, 6(4):1-4.
- Lohman, MH; Hartel, RW. 1994. Effect of milk fat fractions on fat bloom in dark chocolates. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 71(3):267-276.
- Loureiro, G; Reis de Araujo, Q; Valle, R; Andrade, G; Moreira de Souza, S. 2017. Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahía, Brasil. *Ecosist. Recur. Agropec.*, 4(12):579-587.
- Minifie, B. 1999. *Chocolate, Cocoa and Confectionery. Science and Technology*. Third Edition. Aspen Publishers Inc. Maryland. Pp. 904.
- Monteali, D. A. 2023. “Determinación de la vida útil de chocolates oscuros sin empaque con 70 por ciento de cacao peruano”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. 107 p.
- Montgomery, D. 2006. *Control estadístico de la Calidad*. Tercera edición. Arizona State University. Editorial Limusa S.A. de C.V. 800 p.
- Ortiz, L; Camacho, G; Graziani, L. 2004. Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. *Agronomía Trop.*, 54(1):31-43.
- Ortiz, L; Graziani, L; Rovedas, L; Gervaise, L. 2009. Evaluación de varios factores sobre características químicas grano de cacao en fermentación. *Agronomía Trop.*, 59(1):73-79.

- Perfect Daily Grind. 2019. Variedad CCN 51: ¿Una amenaza para la industria del cacao?
Consultado el 14 de febrero del 2021. Disponible en:
<https://perfectdailygrind.com/es/2019/07/19/variedad-ccn-51-una-amenaza-para-la-industria-del-cacao/>
- Portillo, E; Graziani de Farinas, L; Betancourt, E. 2007. Análisis químico del cacao criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el sur del Lago de Maracaibo Rev. Fac. Agron., 24:522-546.
- Programa Nacional del Biocomercio Sostenible. 2005. Diagnóstico del cacao sabor Arriba. Guayaquil - Ecuador. Consultado el 01 de noviembre del 2016. Disponible en: <http://www.biotrade.org/ResourcesNewsAssess/ecuador-strategy-cocoaArriba.pdf>
- Ramírez, J. 2006. Introducción a la reología de los alimentos. Universidad de Cali, Colombia. ReCiTelA, 6(1):1-46.
- Rivera, J. 2018. Correlación de la porosidad con el grado de fermentación del grano de cacao peruano (*Theobroma cacao* L.). Tesis para obtener el grado de Ingeniero. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
- Ruiz, M; Mera, O; Prado, A; Cedeño, W. 2015. Influencia de la época de cosecha en la calidad del licor de cacao tipo nacional. ESPAMCIENCIA, 5(2):73-85.
- Saltini, R; Akkerman R. 2012. Testing improvements in the chocolate traceability system: impact on product recalls and production efficiency. Food Control, 23: 221-226.
- Saltini, R; Akkerman, R; Frosh, S. 2013. Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. Food Control, 29: 167-187.
- Sol, A; Naranjo, JA; Córdova, V; Ávalos, DA; Zaldívar, JM. 2016. Caracterización bromatológica de los productos derivados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Chontalpa, Tabasco, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas., 14-15:2817-2830.

- Sotomayor, D. 2011. Estimación de los Retornos de las Inversiones Realizadas por INIAP en Investigación y Transferencia de Tecnologías en Cacao, Ecuador. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agropecuario. Sangolqui, EC, Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 103 p.
- Torres, J; Alvis, A; Gallo, L; Acevedo, D; Montero, P; Castellanos, F. 2018. Optimización del proceso de fritura por inmersión de la arepa con huevo utilizando metodología de superficie de respuesta. Rev. Chil. Nutrición 45(1): 50-59.
- Torres-Moreno, M; Tárrega, A; Costell, E; Blanch, C. 2011. Dark chocolate acceptability: Influence of cocoa origins and processing conditions. J Sc. Food Agric., 92:404-411.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2018. La ruta del cacao para América Latina y el Caribe: diversidad cultural hacia el desarrollo endógeno. Consultado el 14 de febrero del 2020. Disponible en: http://www.lacult.unesco.org/cacao/menu_produccion.php?uid_ext=&getipr=&lg=1&art=4
- Ulrich, KT; Eppinger, SD. 2013. Diseño y desarrollo de productos. Quinta edición. Impreso en México.
- Ureña, M. O. 1990. “Obtención de alimentos modelo a partir de bentonita, glicerol y agua, para estudios de transferencia de calor en alimentos”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Ureña, M; D’Arrigo, H; Girón, M. 1999. Evaluación Sensorial de los Alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1era Edición. Lima. 197 p.
- Valverde, M.C. 2019. “Determinación del tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate oscuro aplicando el método Variación No Significativa en Cinética”. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. 257 p.

- Vera, J; Vallejo, Ch; Párraga, D; Morales, W; Macías, J; Ramos, R. 2014. Atributos físicos-químicos y sensoriales de las Almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(2):21-34.
- Vignati, F; Gómez-García, R. 2020. Iniciativa Latinoamericana del Cacao: Boletín No. 8. Caracas: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1530>
- Voltz, HG. 2001. *Industrial color testing fundamentals and techniques*. Weinheim, Wiley – VCH Verlag GmbH, 373 p.
- Yachachin Tunque, R.G. 2023. Determinación de niveles óptimos en la reducción de tamaño de partícula de cacao piurano en la fabricación de chocolate. Tesis para optar título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.

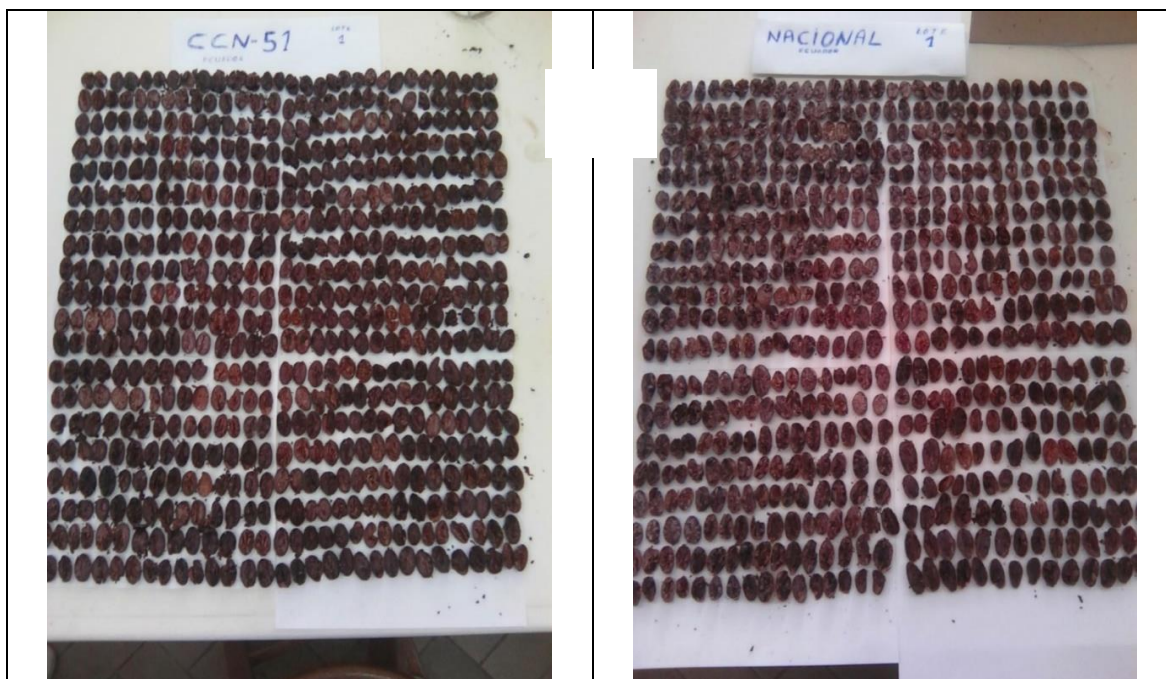
VIII. ANEXOS

Anexo 1: Escala de deseabilidad en base al rendimiento del proceso

Valores	Escala	Calidad del producto
1,00	Excelente	Lo esencial en satisfacción o calidad. La mejora más allá de este punto no tendría ningún valor apreciable.
0,80 - 1,00	Muy bueno	Aceptable y excelente, calidad o desempeño inusual, es mejor que lo disponible comercialmente.
0,63 - 0,80	Bueno	Aceptable y bueno, representa una mejora sobre la mejor calidad comercial.
0,37 - 0,63	Satisfactorio	Aceptable pero pobre. La calidad es aceptable para los límites de especificación, pero se desea que mejore.
0,20 - 0,37	Malo	Inaceptable. Los materiales con esta calidad conducirán a la falla del proceso.
0,00 - 0,20	Muy malo	Completamente inaceptable.

Fuente: Lazic (2004) citado por Bacio (2007)

Anexo 2: Fotos de cacao expuesto para el análisis de corte en la determinación del índice de fermentación



Anexo 3: Resumen estadístico para tamaño de partículas

TRATAMIENTO	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo
1	3	24.6667	2.08167	8.43919%	23.0
2	3	22.0	2.0	9.09091%	20.0
3	3	19.6667	0.57735	2.93568%	19.0
4	3	21.0	1.0	4.7619%	20.0
5	3	20.3333	0.57735	2.83943%	20.0
6	3	21.6667	1.52753	7.05012%	20.0
7	3	20.6667	0.57735	2.79363%	20.0
8	3	22.6667	1.52753	6.73908%	21.0
9	3	20.0	0	0%	20.0
Total	27	21.4074	1.84514	8.61919%	19.0

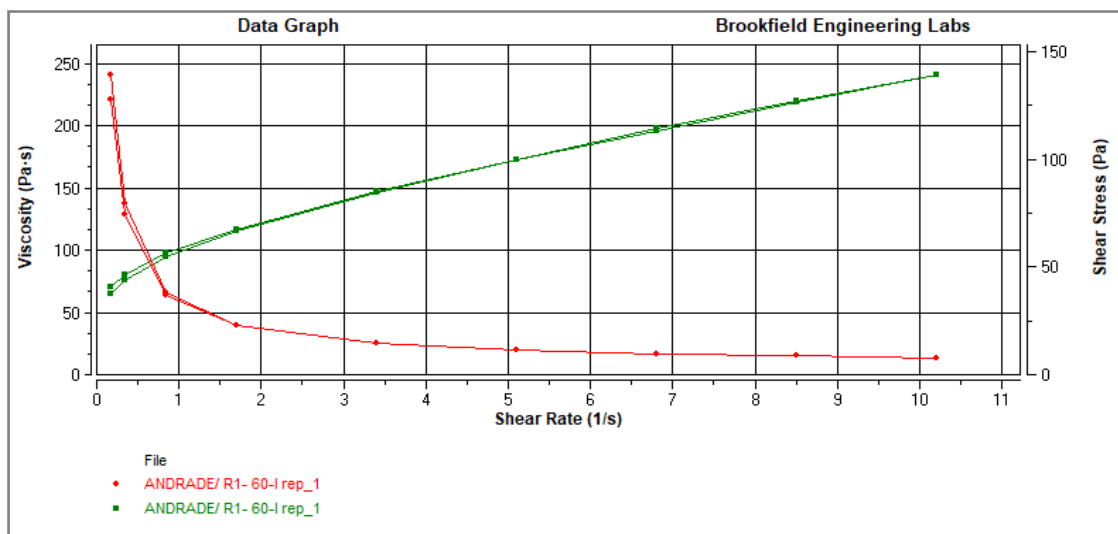
Anexo 4: Resumen estadístico de índice de blancura en chocolate

TRATAMIENTO	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
1	3	30.4567	0.223681	0.734425%	30.26	30.7	0.44	0.634962
2	3	27.9167	0.938367	3.36132%	26.89	28.73	1.84	-0.686018
3	3	27.48	0.51	1.8559%	26.97	27.99	1.02	0
4	3	29.13	0.615549	2.11311%	28.5	29.73	1.23	-0.154712
5	3	26.3367	0.376475	1.42947%	26.09	26.77	0.68	1.18984
6	3	25.65	0.305123	1.18956%	25.4	25.99	0.59	0.856908
7	3	28.6667	0.185831	0.648249%	28.46	28.82	0.36	-0.838003
8	3	26.1567	0.0907377	0.346901%	26.09	26.26	0.17	1.07586
9	3	25.6833	0.266896	1.03918%	25.4	25.93	0.53	-0.428896
Total	27	27.4974	1.66734	6.06361%	25.4	30.7	5.3	0.96472

Anexo 5: Registro de data de viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia (yields stress)

Math Model:		NCA/CMA Casson							R1-60	
		Plastic Viscosity = 4.57 Pa·s								
		Yield Stress = 19.7 Pa								
		Confidence of Fit = 98.4 %								
Data:										
Loop	Step	Point	Viscosity	Speed	Torque	Shear Stress	Shear Rate	Temp	Bath	Time
(#)	(#)	(#)	(Pa·s)	(RPM)	(%)	(Pa)	(1/s)	(°C)	(°C)	(hh:mm:ss)
0	2	1	237	0.5	23.7	40	0.2	40.1	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	136	1	27.2	46	0.3	40.1	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	67.2	2.5	33.6	57	0.9	40.1	EEEE	00:01:20.1
0	5	4	41.2	5	41.2	70	1.7	40.1	EEEE	00:01:40.1
0	6	5	26.35	10	52.7	90	3.4	40.1	EEEE	00:02:00.1
0	7	6	20.8	15	62.4	106	5.1	40.1	EEEE	00:02:20.2
0	8	7	17.8	20	71.2	121	6.8	40.1	EEEE	00:02:40.2
0	9	8	17.75	20	71	121	6.8	40.1	EEEE	00:03:00.2
0	10	9	20.67	15	62	105	5.1	40.1	EEEE	00:03:20.2
0	11	10	26.1	10	52.2	89	3.4	40.1	EEEE	00:03:40.2
0	12	11	40.6	5	40.6	69	1.7	40.1	EEEE	00:04:00.2
0	13	12	65.6	2.5	32.8	56	0.9	40.1	EEEE	00:04:20.2
0	14	13	130	1	26	44	0.3	40.1	EEEE	00:04:40.2
0	15	14	222	0.5	22.2	38	0.2	40.1	EEEE	00:05:00.2

Tratamiento R1 al 60 por ciento de cacao

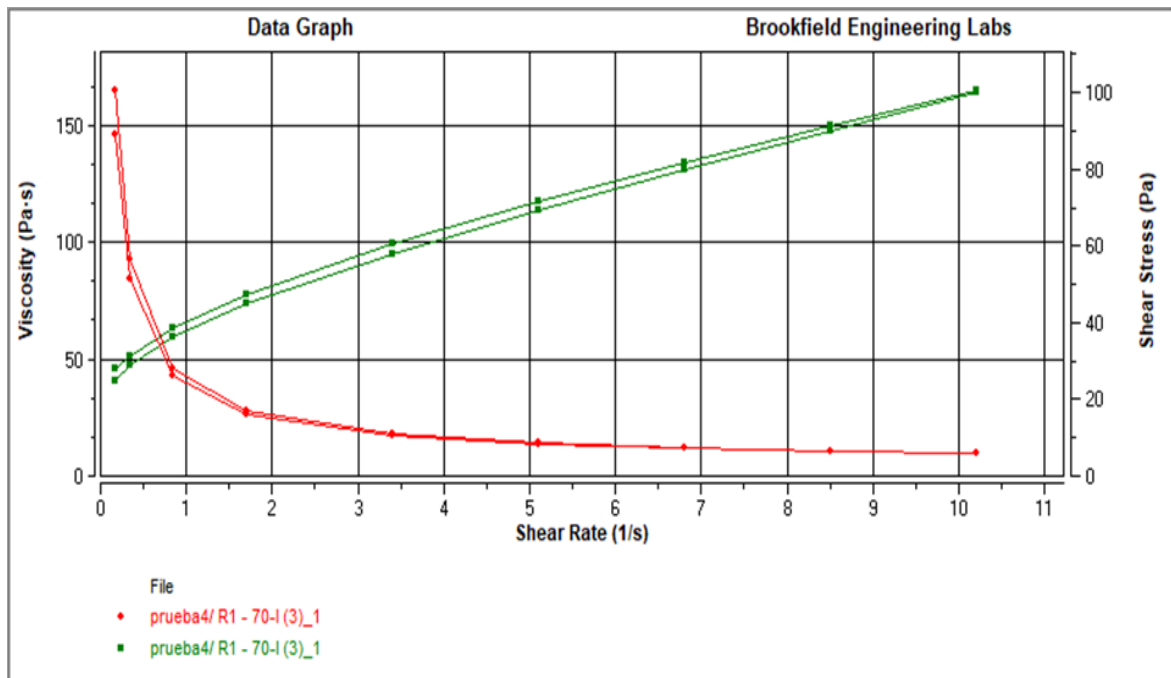


Tratamiento R1 al 70 por ciento de cacao

Math Model: NCA/CMA
 Casson **R1-70**
 Plastic Viscosity = 2.6 Pa·s
 Yield Stress = 11.8 Pa
 Confidence of Fit = 98.2 percent

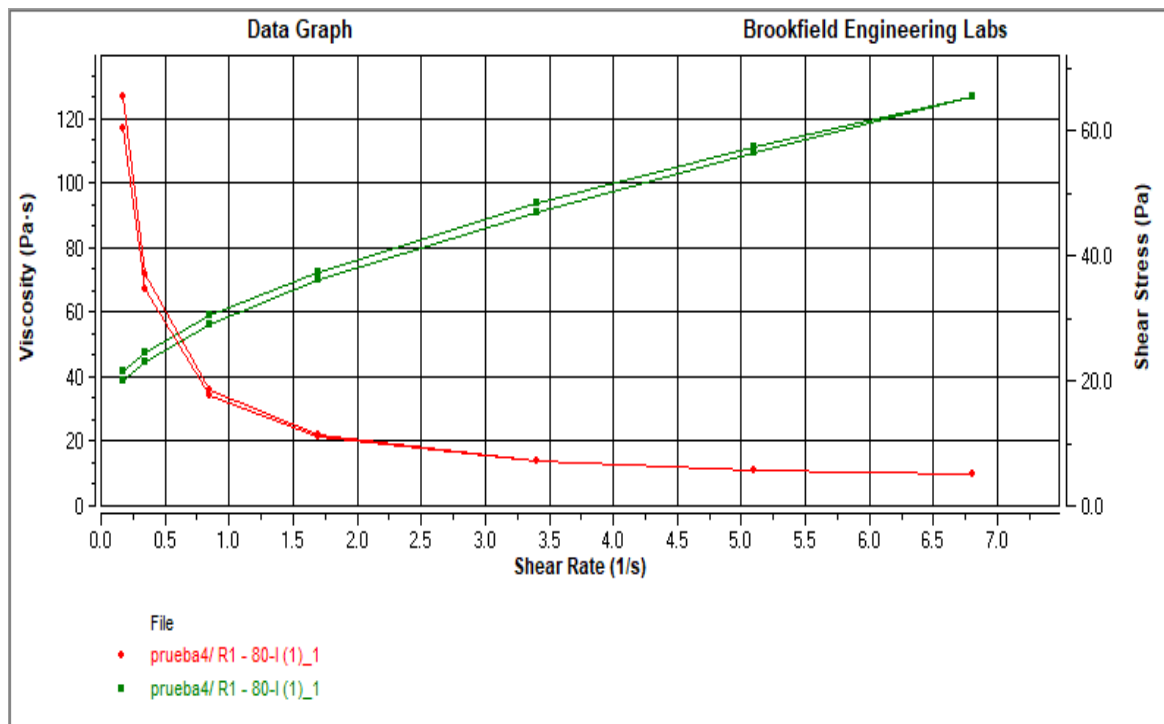
Data:

Loop (#)	Step (#)	Point (#)	Viscosity (Pa·s)	Speed (RPM)	Torque (%)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/s)	Temp (°C)	Bath (°C)	Time (hh:mm:ss)
0	2	1	145	0.5	14.5	24.65	0.17	40	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	82	1	16.4	27.88	0.34	40	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	40	2.5	20	34	0.85	40	EEEE	00:01:20.1
0	5	4	24.4	5	24.4	41.48	1.7	39.9	EEEE	00:01:40.1
0	6	5	15.6	10	31.2	53.04	3.4	39.9	EEEE	00:02:00.1
0	7	6	12.3	15	36.9	62.73	5.1	39.9	EEEE	00:02:20.1
0	8	7	10.52	20	42.1	71.57	6.8	39.9	EEEE	00:02:40.1
0	9	8	9.4	25	47	79.9	8.5	39.9	EEEE	00:03:00.1
0	10	9	8.63	30	51.8	88.06	10.2	39.9	EEEE	00:03:20.2
0	11	10	8.63	30	51.8	88.06	10.2	39.9	EEEE	00:03:40.2
0	12	11	9.36	25	46.8	79.56	8.5	39.9	EEEE	00:04:00.2
0	13	12	10.4	20	41.6	70.72	6.8	39.9	EEEE	00:04:20.2
0	14	13	12.07	15	36.2	61.54	5.1	39.9	EEEE	00:04:40.2
0	15	14	15.2	10	30.4	51.68	3.4	40	EEEE	00:05:00.2
0	16	15	23.6	5	23.6	40.12	1.7	40	EEEE	00:05:20.2
0	17	16	38.2	2.5	19.1	32.47	0.85	39.9	EEEE	00:05:40.3
0	18	17	76	1	15.2	25.84	0.34	40	EEEE	00:06:00.3
0	19	18	132	0.5	13.2	22.44	0.17	39.9	EEEE	00:06:20.3



Tratamiento R1 al 80 por ciento de cacao

Math Model:	NCA/CMA Casson								R1-80	
Plastic Viscosity = 2.55 Pa·s Yield Stress = 10.2 Pa Confidence of Fit = 98 percent										
Data:										
Loop (#)	Step (#)	Point (#)	Viscosity (Pa·s)	Speed (RPM)	Torque (%)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/s)	Temp (°C)	Bath (°C)	Time (hh:mm:ss)
0	2	1	127	0.5	12.7	21.59	0.17	40	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	72	1	14.4	24.48	0.34	40	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	35.8	2.5	17.9	30.43	0.85	40	EEEE	00:01:20.2
0	5	4	22	5	22	37.4	1.7	40	R1-70	00:01:40.2
0	6	5	14.2	10	28.4	48.28	3.4	40	EEEE	00:02:00.2
0	7	6	11.23	15	33.7	57.29	5.1	40	EEEE	00:02:20.2
0	8	7	9.63	20	38.5	65.45	6.8	40	EEEE	00:02:40.2
0	9	8	9.6	20	38.4	65.28	6.8	40	EEEE	00:03:00.3
0	10	9	11.07	15	33.2	56.44	5.1	40	EEEE	00:03:20.3
0	11	10	13.8	10	27.6	46.92	3.4	40	EEEE	00:03:40.3
0	12	11	21.2	5	21.2	36.04	1.7	40	EEEE	00:04:00.3
0	13	12	34.2	2.5	17.1	29.07	0.85	40	EEEE	00:04:20.3
0	14	13	67.5	1	13.5	22.95	0.34	40	EEEE	00:04:40.3
0	15	14	117	0.5	11.7	19.89	0.17	40	EEEE	00:05:00.3

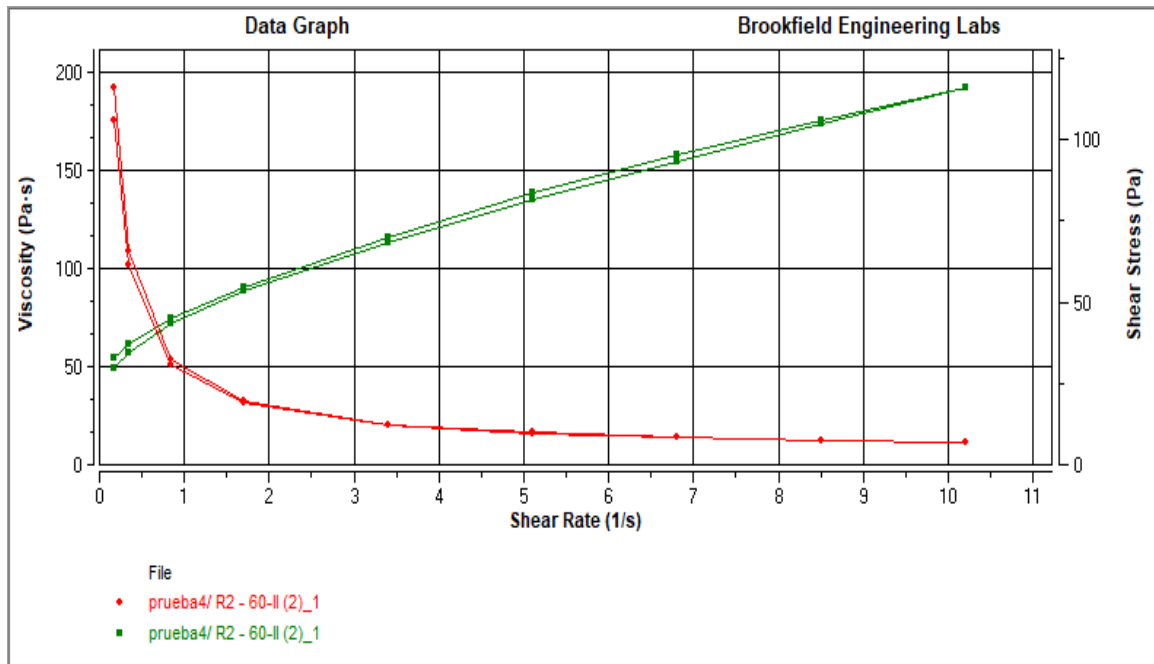


Tratamiento R2 al 60 por ciento de cacao

ath Model: NCA/CMA Casson **R2-60**
 Plastic Viscosity = 3.26 Pa·s
 Yield Stress = 17.2 Pa
 Confidence of Fit = 98.3 percent

Data:

Loop (#)	Step (#)	Point (#)	Viscosity (Pa·s)	Speed (RPM)	Torque (%)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/s)	Temp (°C)	Bath (°C)	Time (hh:mm:ss)
0	2	1	208	0.5	20.8	35.36	0.17	40.3	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	117	1	23.4	39.78	0.34	40.4	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	56.2	2.5	28.1	47.77	0.85	40.4	EEEE	00:01:20.1
0	5	4	33.4	5	33.4	56.78	1.7	40.4	EEEE	00:01:40.1
0	6	5	21.1	10	42.2	71.74	3.4	40.4	EEEE	00:02:00.1
0	7	6	16.7	15	50.1	85.17	5.1	40.4	EEEE	00:02:20.1
0	8	7	14.32	20	57.3	97.41	6.8	40.4	EEEE	00:02:40.1
0	9	8	12.7	25	63.5	107.9	8.5	40.3	EEEE	00:03:00.1
0	10	9	11.6	30	69.6	118.3	10.2	40.2	EEEE	00:03:20.1
0	11	10	11.58	30	69.5	118.2	10.2	40.1	EEEE	00:03:40.1
0	12	11	12.6	25	63	107.1	8.5	40	EEEE	00:04:00.1
0	13	12	14.1	20	56.4	95.88	6.8	39.9	EEEE	00:04:20.1
0	14	13	16.43	15	49.3	83.81	5.1	39.9	EEEE	00:04:40.1
0	15	14	20.85	10	41.7	70.89	3.4	39.9	EEEE	00:05:00.1
0	16	15	32.7	5	32.7	55.59	1.7	39.9	EEEE	00:05:20.2
0	17	16	53.4	2.5	26.7	45.39	0.85	39.9	EEEE	00:05:40.2
0	18	17	108	1	21.6	36.72	0.34	39.9	EEEE	00:06:00.2
0	19	18	187	0.5	18.7	31.79	0.17	39.9	EEEE	00:06:20.2

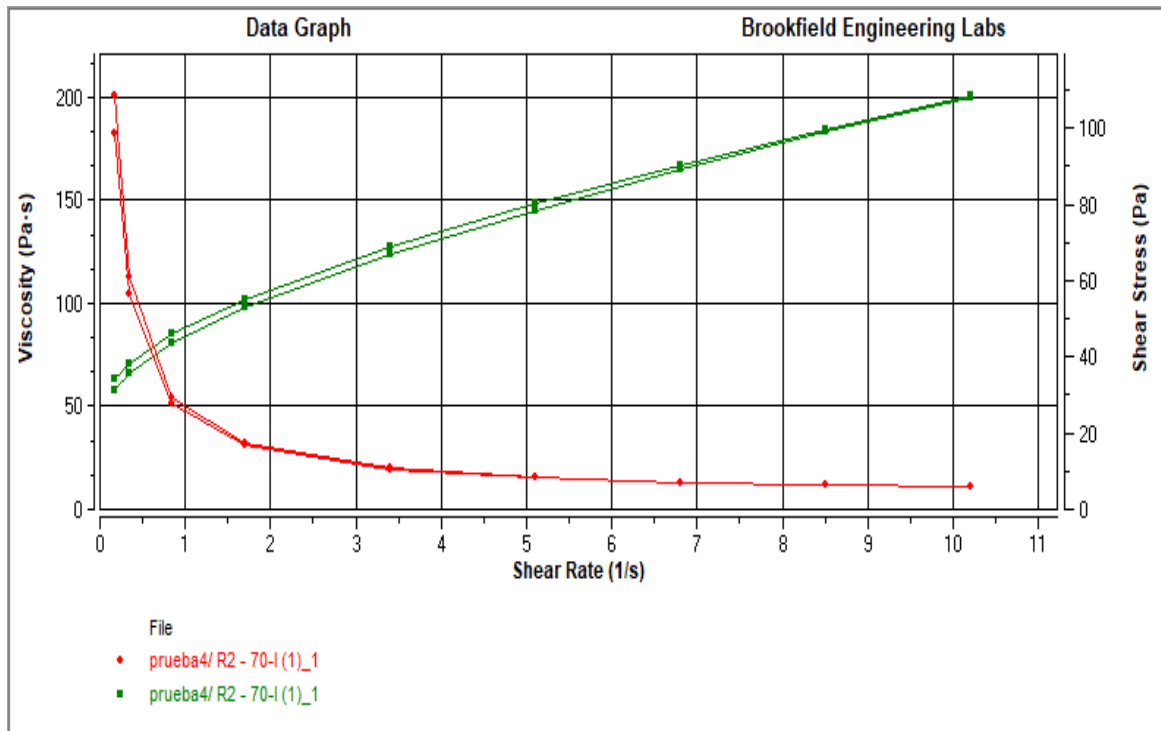


Tratamiento R2 al 70 por ciento de cacao

Math Model: NCA/CMA Casson **R2-70**
 Plastic Viscosity = 2.8 Pa·s
 Yield Stress = 17.1 Pa
 Confidence of Fit = 98.1 percent

Data:

Loop (#)	Step (#)	Point (#)	Viscosity (Pa·s)	Speed (RPM)	Torque (%)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/s)	emp (°C)	Bath (°C)	Time (hh:mm:ss)
0	2	1	201	0.5	20.1	34.17	0.17	40	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	112.5	1	22.5	38.25	0.34	40	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	54	2.5	27	45.9	0.85	40	EEEE	00:01:20.1
0	5	4	32.3	5	32.3	54.91	1.7	40	EEEE	00:01:40.1
0	6	5	20.25	10	40.5	68.85	3.4	40	EEEE	00:02:00.2
0	7	6	15.7	15	47.1	80.07	5.1	40	EEEE	00:02:20.2
0	8	7	13.27	20	53.1	90.27	6.8	40	EEEE	00:02:40.2
0	9	8	11.72	25	58.6	99.62	8.5	40	EEEE	00:03:00.2
0	10	9	10.65	30	63.9	108.6	10.2	40	EEEE	00:03:20.2
0	11	10	10.62	30	63.7	108.3	10.2	40	EEEE	00:03:40.2
0	12	11	11.64	25	58.2	98.94	8.5	40	EEEE	00:04:00.2
0	13	12	13.1	20	52.4	89.08	6.8	40	EEEE	00:04:20.2
0	14	13	15.37	15	46.1	78.37	5.1	40	EEEE	00:04:40.2
0	15	14	19.65	10	39.3	66.81	3.4	40	EEEE	00:05:00.3
0	16	15	31.1	5	31.1	52.87	1.7	40	EEEE	00:05:20.3
0	17	16	51.4	2.5	25.7	43.69	0.85	40	EEEE	00:05:40.4
0	18	17	104.5	1	20.9	35.53	0.34	40	EEEE	00:06:00.4
0	19	18	183	0.5	18.3	31.11	0.17	40	EEEE	00:06:20.4

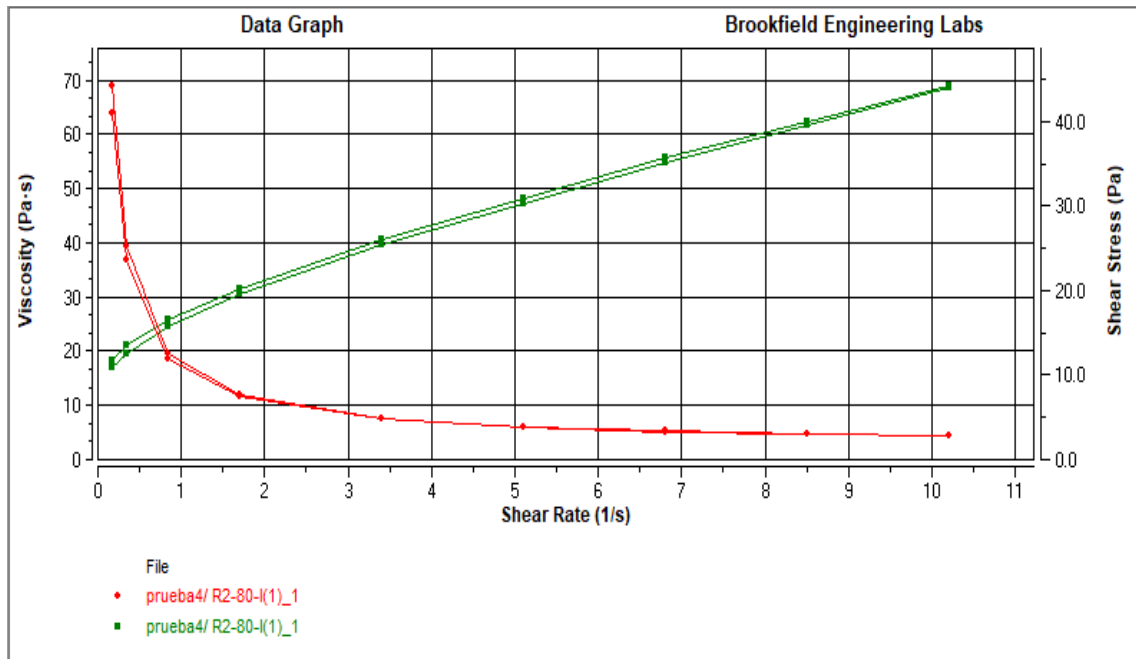


Tratamiento R2 al 80 por ciento de cacao

Math model: NCA/CMA Casson **R2-80**
 Plastic Viscosity = 1.27 Pa·s
 Yield Stress = 5.39 Pa
 Confidence of Fit = 99 percent.

Data:

Loop (#)	Step (#)	Point (#)	Viscosity (Pa·s)	Speed (RPM)	Torque (%)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/s)	Temp (°C)	Bath (°C)	Time (hh:mm:ss)
0	2	1	66	0.5	6.6	11.22	0.17	39.9	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	37	1	7.4	12.58	0.34	39.9	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	18.4	2.5	9.2	15.64	0.85	39.9	EEEE	00:01:20.1
0	5	4	11.3	5	11.3	19.21	1.7	39.9	EEEE	00:01:40.1
0	6	5	7.25	10	14.5	24.65	3.4	40	EEEE	00:02:00.1
0	7	6	5.8	15	17.4	29.58	5.1	40	EEEE	00:02:20.1
0	8	7	4.97	20	19.9	33.83	6.8	40	EEEE	00:02:40.1
0	9	8	4.48	25	22.4	38.08	8.5	40	EEEE	00:03:00.2
0	10	9	4.12	30	24.7	41.99	10.2	40	EEEE	00:03:20.2
0	11	10	4.1	30	24.6	41.82	10.2	40	EEEE	00:03:40.2
0	12	11	4.42	25	22.1	37.57	8.5	40	EEEE	00:04:00.2
0	13	12	4.9	20	19.6	33.32	6.8	40	EEEE	00:04:20.2
0	14	13	5.67	15	17	28.9	5.1	40	EEEE	00:04:40.2
0	15	14	7.1	10	14.2	24.14	3.4	40	EEEE	00:05:00.2
0	16	15	10.9	5	10.9	18.53	1.7	40	EEEE	00:05:20.2
0	17	16	17.6	2.5	8.8	14.96	0.85	40	EEEE	00:05:40.2
0	18	17	35.5	1	7.1	12.07	0.34	40	EEEE	00:06:00.2
0	19	18	61	0.5	6.1	10.37	0.17	40	EEEE	00:06:20.3



Tratamiento R3 al 60 por ciento de cacao

Math

Model:

NCA/CMA Casson

R3-60

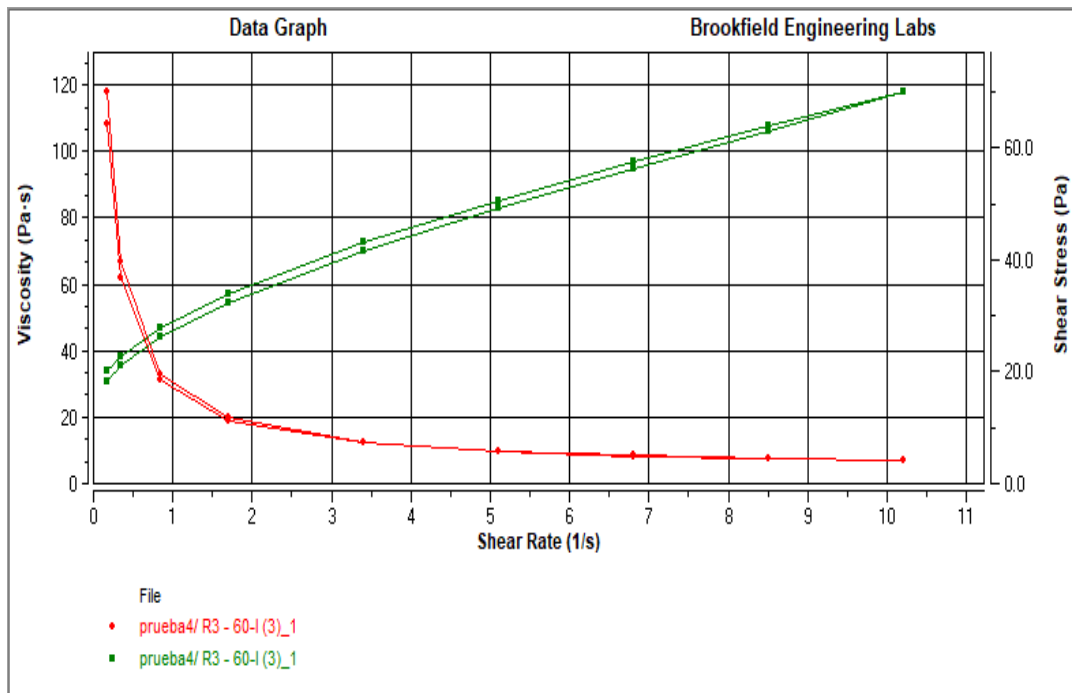
Plastic Viscosity = 2.02 Pa·s

Yield Stress = 9.4 Pa

Confidence of Fit = 98.8 percent

Data:

Loop (#)	Step (#)	Point (#)	Viscosity (Pa·s)	Speed (RPM)	Torque (%)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/s)	Temp (°C)	Bath (°C)	Time (hh:mm:ss)
0	2	1	112	0.5	11.2	19.04	0.17	40	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	63.5	1	12.7	21.59	0.34	40	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	31.4	2.5	15.7	26.69	0.85	40	EEEE	00:01:20.1
0	5	4	19.2	5	19.2	32.64	1.7	40	EEEE	00:01:40.1
0	6	5	12.25	10	24.5	41.65	3.4	40	EEEE	00:02:00.1
0	7	6	9.67	15	29	49.3	5.1	40.1	EEEE	00:02:20.1
0	8	7	8.27	20	33.1	56.27	6.8	40	EEEE	00:02:40.1
0	9	8	7.38	25	36.9	62.73	8.5	40	EEEE	00:03:00.1
0	10	9	6.77	30	40.6	69.02	10.2	40.1	EEEE	00:03:20.1
0	11	10	6.75	30	40.5	68.85	10.2	40.1	EEEE	00:03:40.1
0	12	11	7.34	25	36.7	62.39	8.5	40.1	EEEE	00:04:00.1
0	13	12	8.2	20	32.8	55.76	6.8	40.1	EEEE	00:04:20.2
0	14	13	9.57	15	28.7	48.79	5.1	40.1	EEEE	00:04:40.2
0	15	14	12.05	10	24.1	40.97	3.4	40.1	EEEE	00:05:00.2
0	16	15	18.8	5	18.8	31.96	1.7	40.1	EEEE	00:05:20.2
0	17	16	30.6	2.5	15.3	26.01	0.85	40.1	EEEE	00:05:40.2
0	18	17	61.5	1	12.3	20.91	0.34	40.1	EEEE	00:06:00.2
0	19	18	106	0.5	10.6	18.02	0.17	40.1	EEEE	00:06:20.2



Tratamiento R3 al 70 por ciento de cacao

Math

Model:

NCA/CMA Casson

R3-70

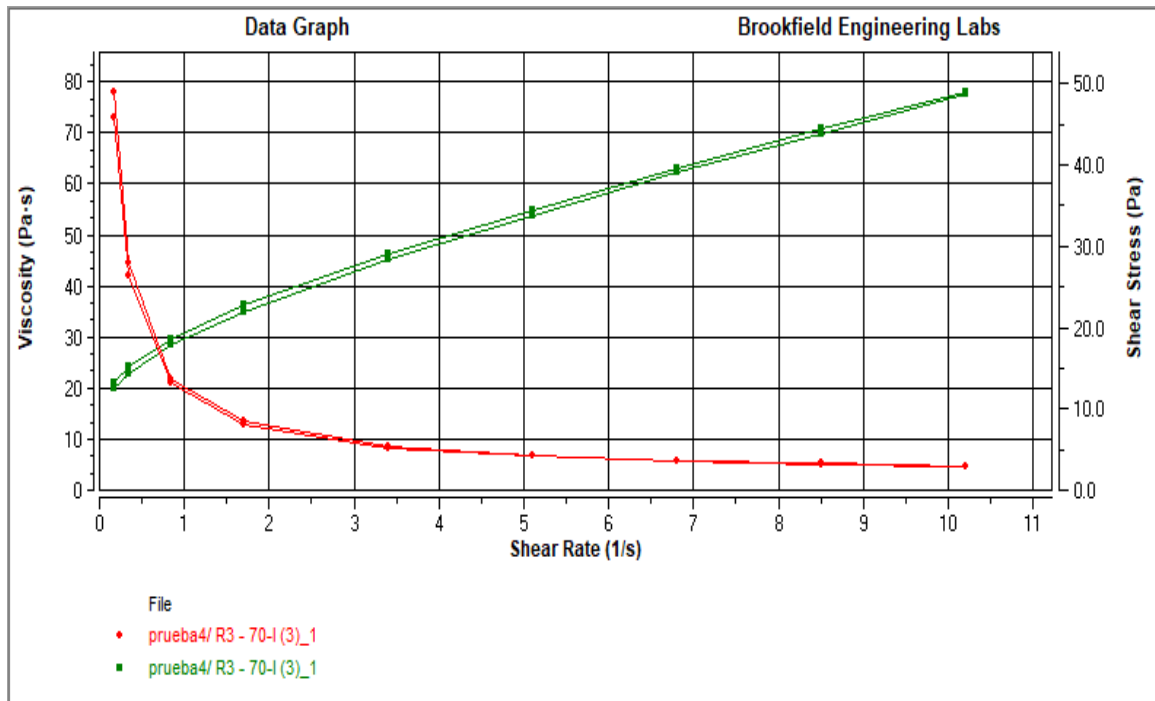
Plastic Viscosity = 1.46 Pa·s

Yield Stress = 6.4 Pa

Confidence of Fit = 98.5 %

Data:

Loop (#)	Step (#)	Point (#)	Viscosity (Pa·s)	Speed (RPM)	Torque (%)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/s)	Temp (°C)	Bath (°C)	Time (hh:mm:ss)
0	2	1	78	0.5	7.8	13.26	0.17	40	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	44.5	1	8.9	15.13	0.34	40	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	21.8	2.5	10.9	18.53	0.85	40	EEEE	00:01:20.1
0	5	4	13.4	5	13.4	22.78	1.7	40	EEEE	00:01:40.1
0	6	5	8.55	10	17.1	29.07	3.4	40	EEEE	00:02:00.1
0	7	6	6.77	15	20.3	34.51	5.1	40	EEEE	00:02:20.1
0	8	7	5.82	20	23.3	39.61	6.8	40	EEEE	00:02:40.1
0	9	8	5.22	25	26.1	44.37	8.5	40	EEEE	00:03:00.2
0	10	9	4.8	30	28.8	48.96	10.2	40	EEEE	00:03:20.2
0	11	10	4.78	30	28.7	48.79	10.2	40	EEEE	00:03:40.2
0	12	11	5.16	25	25.8	43.86	8.5	40	EEEE	00:04:00.2
0	13	12	5.75	20	23	39.1	6.8	40	EEEE	00:04:20.2
0	14	13	6.63	15	19.9	33.83	5.1	40	EEEE	00:04:40.2
0	15	14	8.35	10	16.7	28.39	3.4	40	EEEE	00:05:00.2
0	16	15	12.9	5	12.9	21.93	1.7	40	EEEE	00:05:20.2
0	17	16	21	2.5	10.5	17.85	0.85	40	EEEE	00:05:40.2
0	18	17	42	1	8.4	14.28	0.34	40	EEEE	00:06:00.2
0	19	18	73	0.5	7.3	12.41	0.17	40	EEEE	00:06:20.2



Tratamiento R3 al 80 por ciento de cacao

Math

Model:

NCA/CMA Casson

R3-80

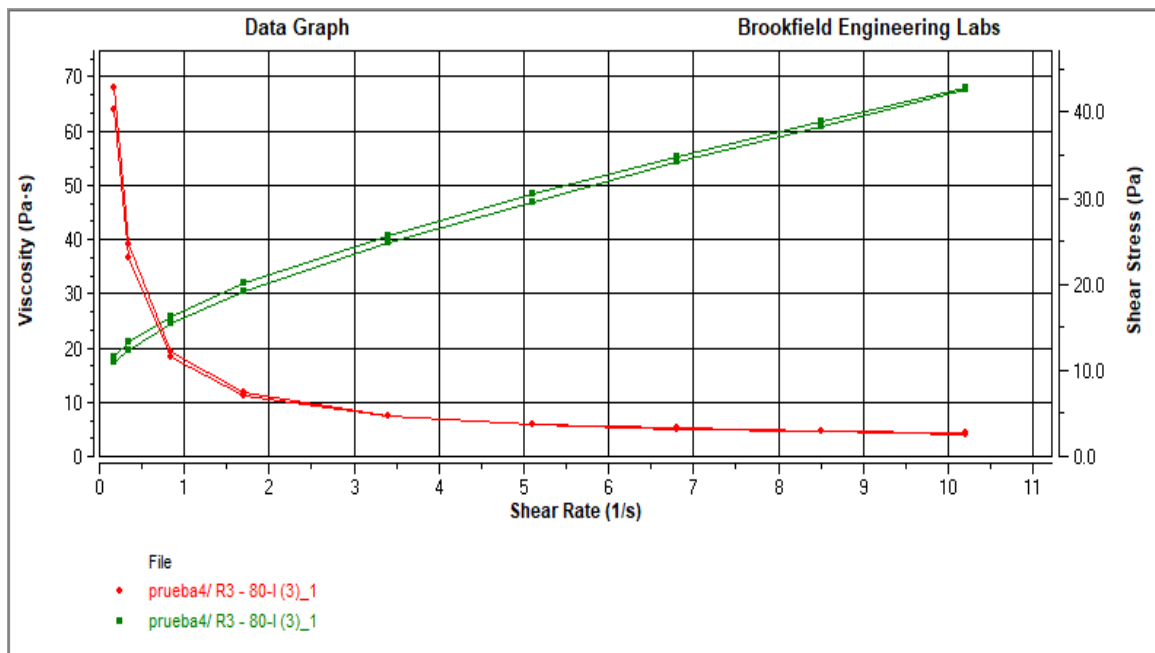
Plastic Viscosity = 1.29 Pa·s

Yield Stress = 5.6 Pa

Confidence of Fit = 98.2 percent

Data:

Loop (#)	Step (#)	Point (#)	Viscosity (Pa·s)	Speed (RPM)	Torque (%)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/s)	Temp (°C)	Bath (°C)	Time (hh:mm:ss)
0	2	1	68	0.5	6.8	11.56	0.17	39.9	EEEE	00:00:40.1
0	3	2	39	1	7.8	13.26	0.34	39.9	EEEE	00:01:00.1
0	4	3	19.2	2.5	9.6	16.32	0.85	40	EEEE	00:01:20.1
0	5	4	11.8	5	11.8	20.06	1.7	40	EEEE	00:01:40.1
0	6	5	7.55	10	15.1	25.67	3.4	40	EEEE	00:02:00.1
0	7	6	5.97	15	17.9	30.43	5.1	40	EEEE	00:02:20.1
0	8	7	5.13	20	20.5	34.85	6.8	40	EEEE	00:02:40.1
0	9	8	4.58	25	22.9	38.93	8.5	40	EEEE	00:03:00.1
0	10	9	4.2	30	25.2	42.84	10.2	40	EEEE	00:03:20.1
0	11	10	4.18	30	25.1	42.67	10.2	40	EEEE	00:03:40.2
0	12	11	4.52	25	22.6	38.42	8.5	40	EEEE	00:04:00.2
0	13	12	5.03	20	20.1	34.17	6.8	40	EEEE	00:04:20.3
0	14	13	5.8	15	17.4	29.58	5.1	40	EEEE	00:04:40.3
0	15	14	7.3	10	14.6	24.82	3.4	40	EEEE	00:05:00.3
0	16	15	11.3	5	11.3	19.21	1.7	40	EEEE	00:05:20.3
0	17	16	18.2	2.5	9.1	15.47	0.85	40	EEEE	00:05:40.3
0	18	17	36.5	1	7.3	12.41	0.34	40	EEEE	00:06:00.3
0	19	18	64	0.5	6.4	10.88	0.17	40	EEEE	00:06:20.4



Anexo 6: Optimización del nivel de mezcla y del porcentaje de cacao para cada una de las propiedades físicas estudiadas

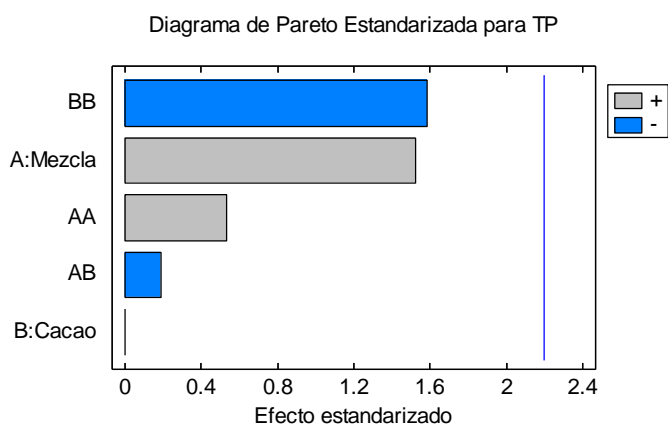
Optimización del tamaño de partícula

Efectos estimados para TP

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	22.6667	0.996451	
A:Mezcla	1.66667	1.09156	1.0
B:Cacao	0.0	1.09156	1.0
AA	1.0	1.89063	1.0
AB	-0.25	1.33688	1.0
BB	-3.0	1.89063	1.0
bloque	0.222222	0.891253	1.0

Errores estándar basados en el error total con 11 g.l.

El gráfico de Pareto y el ANVA, muestran que los factores Mezcla de granos de cacao y el porcentaje de Cacao, tienen efectos significativos ($p < 0,05$) en la variación del índice de blancura de las formulaciones ensayadas:



Análisis de Varianza para TP

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Mezcla	8.33333	1	8.33333	2.33	0.1550
B:Cacao	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
AA	1.0	1	1.0	0.28	0.6074
AB	0.125	1	0.125	0.03	0.8551
BB	9.0	1	9.0	2.52	0.1409
bloques	0.222222	1	0.222222	0.06	0.8077
Error total	39.3194	11	3.57449		
Total (corr.)	58.0	17			

R-cuadrada = 32.2079 por ciento

Error estándar del estimado. = 1.89063

Coef. de regresión para TP

Coeficiente	Estimado
constante	-32.5
A:Mezcla	-0.629167
B:Cacao	2.2
AA	0.005
AB	-0.00125
BB	-0.015

La ecuación del modelo ajustado es:

$$TP = -32.5 - 0.629167 * Mezcla + 2.2 * Cacao + 0.005 * Mezcla^2 - 0.00125 * Mezcla * Cacao - 0.015 * Cacao^2$$

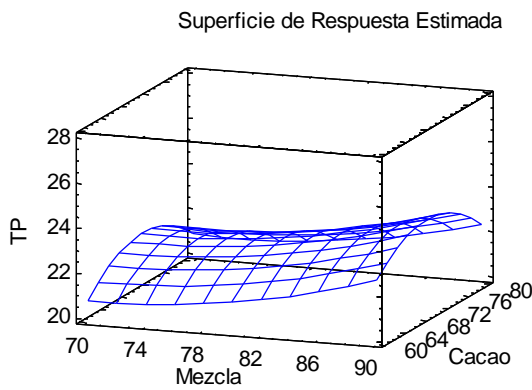
Optimizar Respuesta

Meta: minimizar TP

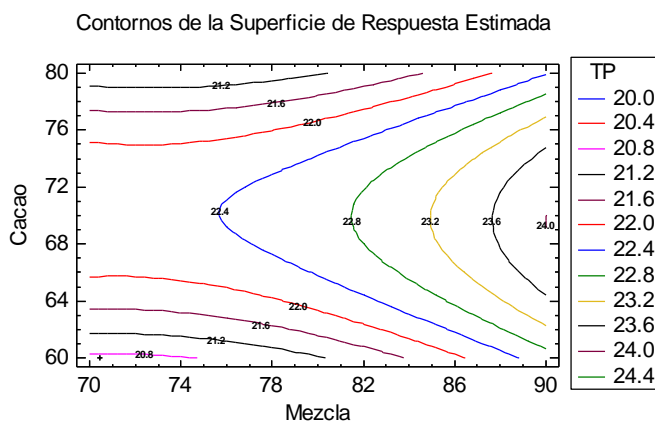
Valor óptimo = 20.7075

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Mezcla	70.0	90.0	70.4151
Cacao	60.0	80.0	60.0

Gráfico de Superficie de Respuesta:



Esta gráfica muestra la estimación de TP en función de Mezcla y Cacao. La altura de la superficie representa los valores de TP.



Esta gráfica muestra los contornos para TP en función de Mezcla y Cacao. Cada línea de contorno representa combinaciones de Mezcla y Cacao las cuales dan el valor seleccionado de TP.

Optimización de índice de blancura

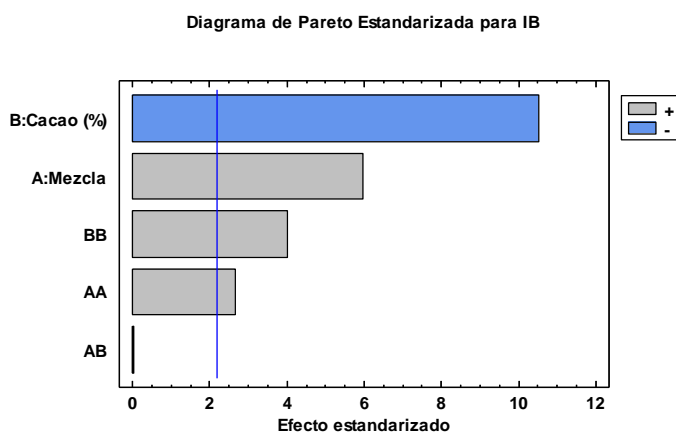
Efectos estimados para IB

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	26.3456	0.273207	
A:Mezcla	1.78333	0.299283	1.0
B:Cacao (%)	-3.14667	0.299283	1.0
AA	1.38333	0.518373	1.0
AB	0.005	0.366545	1.0
BB	2.07333	0.518373	1.0
bloque	-0.471111	0.244363	1.0

Errores estándar basados en el error total con 11 g. l.

El gráfico de Pareto y el ANVA, muestran que los factores Mezcla de granos de cacao y el porcentaje de Cacao, tienen efectos significativos ($p < 0,05$) en la variación del índice de blancura de las formulaciones ensayadas:

Diagramas de Pareto



Análisis de Varianza para IB

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Mezcla	9.54083	1	9.54083	35.51	0.0001
B:Cacao (%)	29.7045	1	29.7045	110.54	0.0000
AA	1.91361	1	1.91361	7.12	0.0218
AB	0.00005	1	0.00005	0.00	0.9894
BB	4.29871	1	4.29871	16.00	0.0021
bloques	0.998756	1	0.998756	3.72	0.0801
Error total	2.95582	11	0.268711		
Total (corr.)	49.4123	17			

R-cuadrada = 94.0181 por ciento

Error estándar del estimado. = 0.518373

Coef. de regresión para IB

Coeficiente	Estimado
constante	125.429
A:Mezcla	-1.01925
B:Cacao (%)	-1.61067
AA	0.00691667
AB	0.000025
BB	0.0103667

La ecuación del modelo ajustado es:

$$IB = 125.429 - 1.01925 * Mezcla - 1.61067 * Cacao (\%) + 0.00691667 * Mezcla^2 + 0.000025 * Mezcla * Cacao (\%) + 0.0103667 * Cacao (\%)^2$$

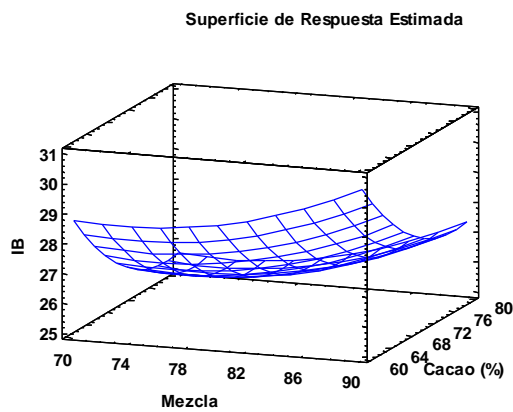
Optimizar Respuesta

Meta: minimizar IB

Valor óptimo = 25.46

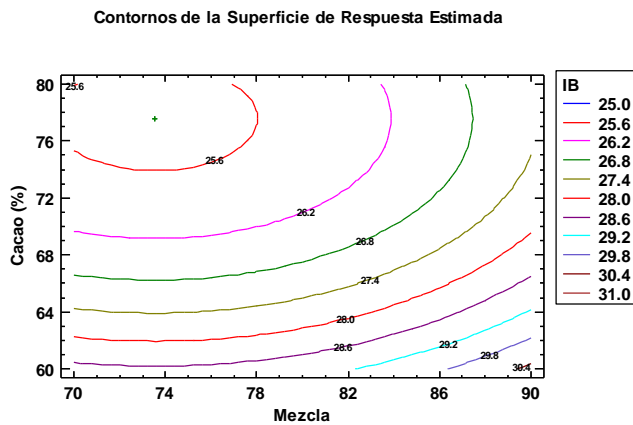
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Mezcla	70.0	90.0	73.5389
Cacao (%)	60.0	80.0	77.5971

Gráfico de Superficie de Respuesta



Esta gráfica muestra la estimación de IB en función de Mezcla y Cacao (%). La altura de la superficie representa los valores de IB.

Gráfico de Contorno



Esta gráfica muestra los contornos para IB en función de Mezcla y Cacao (%). Cada línea de contorno representa combinaciones de Mezcla y Cacao (%) las cuales dan el valor seleccionado de IB.

Optimización de la Viscosidad

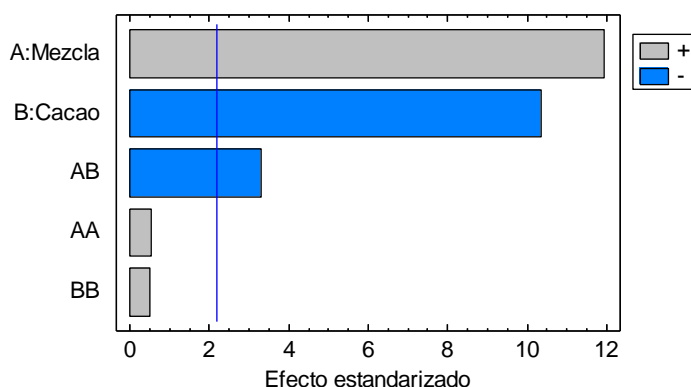
Efectos estimados para Viscosidad

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	2.41	0.138914	
A:Mezcla	1.81667	0.152172	1.0
B:Cacao	-1.57667	0.152172	1.0
AA	0.14	0.26357	1.0
AB	-0.615	0.186372	1.0
BB	0.13	0.26357	1.0
bloque	0.0577778	0.124248	1.0

Errores estándar basados en el error total con 11 g. l.

El gráfico de Pareto y el ANVA, muestran que los factores Mezcla de granos de cacao y el porcentaje de Cacao, tienen efectos significativos ($p < 0,05$) en la variación de la viscosidad de Casson de las formulaciones ensayadas:

Diagrama de Pareto Estandarizada para Viscosidad



Análisis de Varianza para Viscosidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Mezcla	9.90083	1	9.90083	142.52	0.0000
B:Cacao	7.45763	1	7.45763	107.35	0.0000
AA	0.0196	1	0.0196	0.28	0.6059
AB	0.75645	1	0.75645	10.89	0.0071
BB	0.0169	1	0.0169	0.24	0.6316
bloques	0.0150222	1	0.0150222	0.22	0.6510
Error total	0.764161	11	0.0694692		
Total (corr.)	18.9306	17			

R-cuadrada = 96.778 por ciento

Error estándar del estimado = 0.239715

Coefficientes de regresión para Viscosidad

Coefficiente	Estimado
constante	-8.89333
A:Mezcla	0.194083
B:Cacao	0.0761667
AA	0.0007
AB	-0.003075
BB	0.00065

La ecuación del modelo ajustado es:

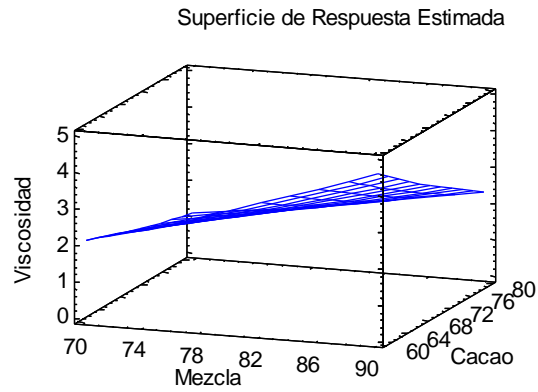
$$\text{Viscosidad} = -8.89333 + 0.194083 * \text{Mezcla} + 0.0761667 * \text{Cacao} + 0.0007 * \text{Mezcla}^2 - 0.003075 * \text{Mezcla} * \text{Cacao} + 0.00065 * \text{Cacao}^2$$

Optimizar Respuesta

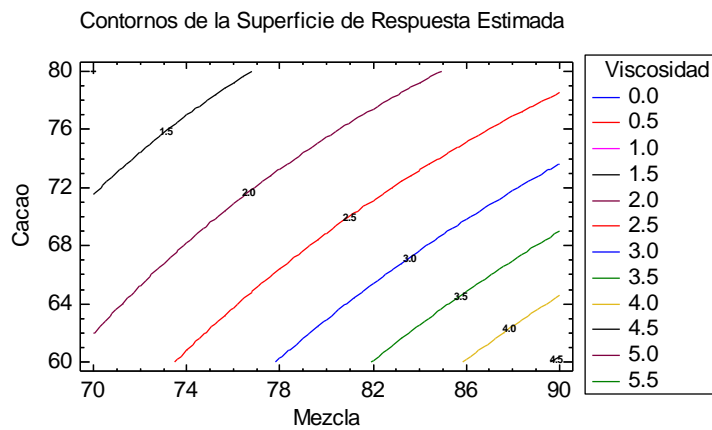
Meta: minimizar Viscosidad

Valor óptimo = 1.15583

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Mezcla	70.0	90.0	70.0
Cacao	60.0	80.0	80.0



Esta gráfica muestra la estimación de Viscosidad en función de Mezcla y Cacao. La altura de la superficie representa los valores de Viscosidad.



Esta gráfica muestra los contornos para Viscosidad en función de Mezcla y Cacao. Cada línea de contorno representa combinaciones de Mezcla y Cacao las cuales dan el valor seleccionado de Viscosidad.

Optimización del Esfuerzo mínimo de fluencia de Casson - Ys

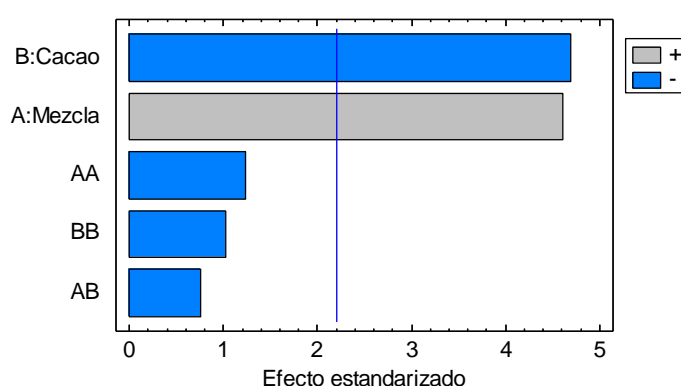
Efectos estimados para Ys

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	13.3389	1.3643	
A:Mezcla	6.88833	1.49452	1.0
B:Cacao	-7.02	1.49452	1.0
AA	-3.20167	2.58858	1.0
AB	-1.385	1.83041	1.0
BB	-2.64667	2.58858	1.0
bloque	-0.656667	1.22027	1.0

Errores estándar basados en el error total con 11 g.l.

El gráfico de Pareto y el ANVA, muestran que los factores Mezcla de granos de cacao y el porcentaje de Cacao, tienen efectos significativos ($p < 0,05$) en la variación del esfuerzo mínimo de fluencia de Casson de las formulaciones ensayadas:

Diagrama de Pareto Estandarizada para Ys



Análisis de Varianza para Ys

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Mezcla	142.347	1	142.347	21.24	0.0008
B:Cacao	147.841	1	147.841	22.06	0.0007
AA	10.2507	1	10.2507	1.53	0.2419
AB	3.83645	1	3.83645	0.57	0.4651
BB	7.00484	1	7.00484	1.05	0.3285
bloques	1.94045	1	1.94045	0.29	0.6012
Error total	73.7085	11	6.70077		
Total (corr.)	386.929	17			

R-cuadrada = 79.5861 por ciento

Error estándar del estimado. = 2.64886

Coefficientes de regresión para Ys

Coefficiente	Estimado
constante	-195.721
A:Mezcla	3.3905
B:Cacao	2.05567
AA	-0.0160083
AB	-0.006925
BB	-0.0132333

La ecuación del modelo ajustado es:

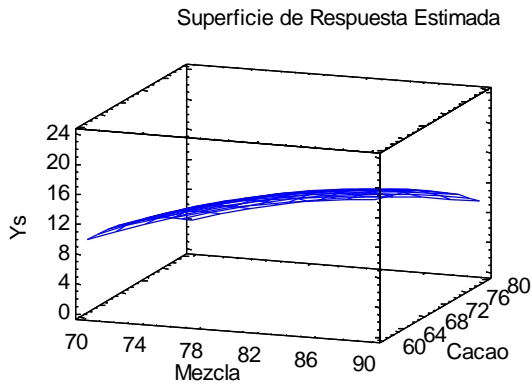
$$Y_s = -195.721 + 3.3905 * \text{Mezcla} + 2.05567 * \text{Cacao} - 0.0160083 * \text{Mezcla}^2 - 0.006925 * \text{Mezcla} * \text{Cacao} - 0.0132333 * \text{Cacao}^2$$

Optimizar Respuesta

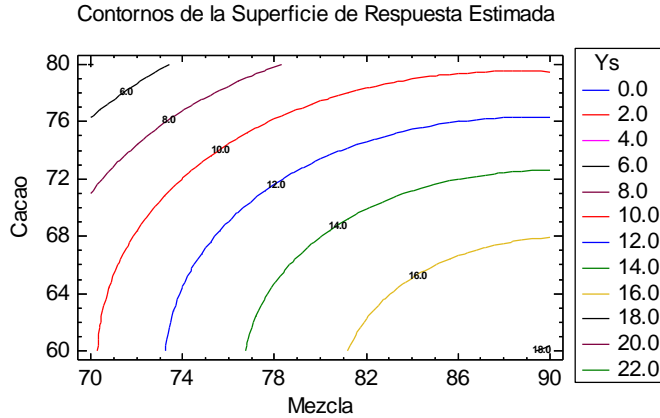
Meta: minimizar Ys

Valor óptimo = 4.15306

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Mezcla	70.0	90.0	70.0
Cacao	60.0	80.0	80.0



Esta gráfica muestra la estimación de Ys en función de Mezcla y Cacao. La altura de la superficie representa los valores de Ys.



Esta gráfica muestra los contornos para Ys en función de Mezcla y Cacao. Cada línea de contorno representa combinaciones de Mezcla y Cacao las cuales dan el valor seleccionado de Ys.

Anexo 7: Optimización de múltiples respuestas

Datos/Variables:

Viscosidad (Pa s)

Ys (Pa)

IB

TP

Respuesta	Mínimo Observado	Máximo Observado
Viscosidad (Pa s)	1.21	4.62
Ys (Pa)	5.45	21.23
IB	25.34	30.68
TP	20.0	27.0

Respuesta	Deseabilidad Baja	Deseabilidad Alta	Meta	Pesos Primero	Impacto
Viscosidad (Pa s)	1.21	4.62	Minimizar	1.0	3.0
Ys (Pa)	5.45	21.23	Minimizar	1.0	3.0
IB	25.34	30.68	Minimizar	1.0	3.0
TP	20.0	27.0	Minimizar	1.0	3.0

Fila	Viscosidad (Pa s)	Ys (Pa)	IB	TP	Deseabilidad Prevista	Deseabilidad Observada
1	2.01	9.96	28.69	21.0	0.622536	0.646423
2	3.15	15.8	28.5	21.0	0.425734	0.477316
3	4.57	21.23	30.68	25.0	0.0	0.0
4	1.48	6.51	26.25	23.0	0.792791	0.798822
5	2.75	16.43	26.72	23.0	0.62671	0.515625
6	3.12	14.3	28.86	22.0	0.407798	0.465684
7	1.33	5.84	25.95	20.0	0.94466	0.955484
8	1.31	5.45	25.96	22.0	0.843049	0.884783
9	2.52	9.94	27.99	20.0	0.655214	0.686382
10	2.1	9.96	28.65	21.0	0.661448	0.643973
11	3.41	15.8	29.74	21.0	0.459717	0.368418
12	4.62	14.13	30.24	20.0	0.0	0.0
13	1.56	6.62	26.07	21.0	0.809673	0.885484
14	2.71	15.47	25.96	22.0	0.644275	0.5994
15	3.54	12.7	26.98	27.0	0.421285	0.0
16	1.21	5.84	25.41	22.0	0.958011	0.91058
17	1.39	5.66	25.34	21.0	0.861831	0.946064
18	2.64	11.9	26.97	24.0	0.674899	0.565438

Este procedimiento ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimiza varias respuestas. Los hace maximizando la función de 'deseabilidad'. Las metas de cada una de las respuestas actualmente están establecidas como:

Viscosidad (Pa s) - minimizar

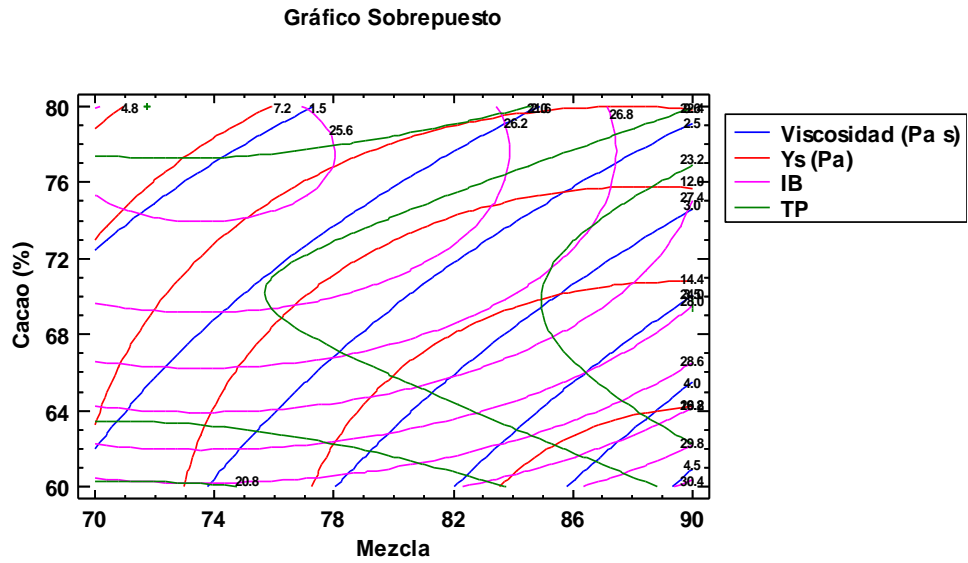
Ys (Pa) - minimizar

IB - minimizar

TP - minimizar

La salida muestra la función de 'deseabilidad' evaluada en cada punto del diseño. Entre los puntos de diseño, la 'deseabilidad' máxima se alcanza en la ejecución 16.

Gráfico de Contornos Sobrepuestos



Esta gráfica muestra las funciones de contorno para cada una de las variables de respuesta.

Optimizar Deseabilidad

Valor óptimo = 0.956016

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Mezcla	70.0	90.0	71.7449
Cacao (%)	60.0	80.0	80.0

Respuesta	Óptimo
Viscosidad (Pa s)	1.21
Ys (Pa)	5.2429
IB	25.5421
TP	20.9227

Esta tabla muestra la combinación de niveles de factores que maximiza la función de 'deseabilidad' en la región indicada. También muestra la combinación de factores a la cual se alcanza el óptimo.