

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE REFINADO-
CONCHADO DE CHOCOLATE OSCURO APLICANDO EL MÉTODO
VARIACIÓN NO SIGNIFICATIVA EN CINÉTICA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

MARÍA CLAUDIA VALVERDE AYLLÓN

LIMA-PERÚ

2019

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE REFINADO-
CONCHADO DE CHOCOLATE OSCURO APLICANDO EL
MÉTODO VARIACIÓN NO SIGNIFICATIVA EN CINÉTICA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

Presentada por:

MARÍA CLAUDIA VALVERDE AYLLÓN

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg Sc. Francisco Salas Valerio
PRESIDENTE

Dra. Carmen Velezmoro
MIEMBRO

Dr. Américo Guevara
MIEMBRO

Dr. Milber Ureña Peralta
ASESOR

Dra. Gabriela Chire
CO-ASESORA

Lima-Perú
2019

DEDICATORIA

A Dios, a mi familia, sobre todo a mi madre, quien ha sido y sigue siendo aquella persona que me impulsa a ser mejor persona y a dar lo mejor de mí. A mi fiel amigo y compañero de toda la vida, Toffy. A las admirables personas y grandes amigos que conocí en todo este trayecto.

AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Milber Ureña, por todo el invaluable apoyo y consejos brindados en el desarrollo del presente trabajo de investigación.
- A la Dra. Gabriela Chire, por el apoyo incondicional, consejos, seguimiento y enseñanza constante brindada en el desarrollo del presente trabajo de investigación.
- A mi madre Carmen Rosa Ayllon por su apoyo y amor incondicional durante el desarrollo del trabajo de investigación.
- Al Mg.Sc. Francisco Salas Valerio, Dra. Carmen Velezmoro y Dr. Américo Guevara, miembros del jurado, quienes contribuyeron a la mejora de la presente investigación.
- A la fábrica de chocolates finos y de aroma de THEOBROMA INVERSIONES S.A.C. por proporcionarme las muestras y el apoyo necesario para el desarrollo de la tesis.
- Al Ing. Johan Rivera, quien fue mi guía en el increíble mundo del chocolate.
- A los técnicos de los laboratorios de la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNALM, Zahara Prudencio, Don Máximo Zuñiga, y Maribel Gonzáles
- A todas aquellas personas que de una u otra forma participaron y aportaron en el desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	3
2.1.1.	ACTUALIDAD.....	3
2.1.2.	DESCRIPCIÓN DEL CACAO.....	3
2.1.3.	GENOTIPOS DEL CACAO.....	4
2.1.4.	COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA.....	6
2.2.	EL CHOCOLATE.....	7
2.2.1.	DEFINICIÓN.....	7
2.3.	PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE.....	8
2.3.1.	TOSTADO.....	8
2.3.2.	DESCASCARILLADO.....	9
2.3.3.	MOLIENDA.....	9
2.3.4.	REFINADO.....	9
2.3.5.	CONCHADO.....	10
2.3.6.	ATEMPERADO.....	11
2.3.7.	MOLDEADO Y ENFRIADO.....	12
2.4.	PROPIEDADES DEL CHOCOLATE.....	12
2.4.1.	PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL CHOCOLATE.....	12
2.4.2.	PROPIEDADES FÍSICAS.....	13
2.4.3.	PROPIEDADES SENSORIALES.....	22
2.5.	OPTIMIZACIÓN POR MÉTODO VNSC.....	25
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	27
3.2.	MATERIA PRIMA Y MAQUINARIA INDUSTRIAL.....	27
3.3.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS (NIVEL LABORATORIO).....	29
3.3.1.	MATERIALES.....	29
3.3.2.	EQUIPOS.....	30
3.3.3.	REACTIVOS.....	30
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	30

3.4.1. ANÁLISIS PROXIMAL.....	30
3.4.2. TAMAÑO DE PARTÍCULA (MÉTODO DEL MICRÓMETRO).....	31
3.4.3. TAMAÑO DE PARTÍCULA (MÉTODO DE ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN- D90).....	31
3.4.4. VISCOSIDAD Y ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA SEGÚN MODELO DE CASSON.....	31
3.4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL.....	32
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	33
3.5.1. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GRANOS Y NIBS DE CACAO.....	35
3.5.2. OBTENCIÓN DE CHOCOLATE EN LA FÁBRICA DE PROCESO.....	35
3.5.3. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE REFINADO/CONCHADO POR VNSC.....	36
3.5.4. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL CHOCOLATE OBTENIDO POR PROCESO OPTIMIZADO.....	37
3.5.5. VALIDACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DETERMINADO DE REFINADO/CONCHADO.....	37
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	37
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL.....	41
4.2. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE CHOCOLATE DURANTE EL PROCESO DE REFINADO-CONCHADO.....	46
4.2.1. MÉTODO DEL MICRÓMETRO.....	46
4.2.2. MÉTODO DE ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN (D90).....	52
4.3. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DE CHOCOLATE DURANTE EL PROCESO DE REFINADO-CONCHADO.....	60
4.4. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA DE CHOCOLATE DURANTE EL PROCESO DE REFINADO-CONCHADO.....	67
4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL DE CHOCOLATE REFINADO-CONCHADO....	75
4.5.1. PRUEBA DE COMPARACIÓN PAREADA SIMPLE.....	75

4.5.2. PRUEBA DE COMPARACIÓN PAREADA DIRECCIONADA.....	75
4.5.3. PRUEBA DESCRIPTIVA CUANTITATIVA (QDA).....	76
4.6. VALIDACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CHOCOLATE OBTENIDO CON EL TIEMPO ÓPTIMO DE REFINADO-CONCHADO.....	79
V. CONCLUSIONES.....	82
VI. RECOMENDACIONES.....	84
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	85
VIII. ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición proximal del grano de cacao fermentado y seco.....	7
Tabla 2: Composición proximal del chocolate oscuro.....	13
Tabla 3: Compuestos volátiles presentes en fracciones aromáticas de muestras de cacao....	24
Tabla 4: Once marcadores diferenciadores de chocolate fino de aroma y sabor de origen Piura.....	25
Tabla 5: Formulación de cobertura de chocolate al 60 por ciento de cacao.....	29
Tabla 6: Esquema experimental para la determinación del tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate.....	39
Tabla 7: Composición proximal de granos y nibs de cacao blanco de Piura.....	42
Tabla 8: Composición proximal de chocolate oscuro al 60 por ciento de cacao.....	44
Tabla 9: Tamaño de Partícula (método del micrómetro) durante el proceso de Refinado-Conchado.....	47
Tabla 10: Tiempo óptimo de refinado-conchado según tamaño de partícula (método del micrómetro).....	53
Tabla 11: D90 durante el proceso de Refinado-Conchado.....	54
Tabla 12: Tiempo óptimo de refinado-conchado según tamaño de partícula (método de análisis dinámico de imagen – D90).....	59
Tabla 13: Viscosidad Plástica (Pa.s) de chocolate durante el proceso de Refinado-Conchado.....	61
Tabla 14: Tiempo óptimo de refinado-conchado según Viscosidad plástica.....	67
Tabla 15: Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) de chocolate durante el proceso de Refinado-Conchado.....	68
Tabla 16: Tiempo óptimo de refinado-conchado según esfuerzo mínimo de fluencia.....	73
Tabla 17: Resultados de la comparación pareada-diferencia simple entre la muestra de tiempo optimizado con respecto a la muestra de tiempo convencional.....	76
Tabla 18: Resultados de la preferencia pareada entre la muestra refinada-conchada por 12 h con respecto a la muestra de tiempo convencional (20 h).....	76
Tabla 19: Resultados de la prueba descriptiva cuantitativa (QDA).....	77
Tabla 20: Porcentajes de validación de propiedades físicas.....	81
Tabla 21: Resultados del análisis proximal del chocolate oscuro obtenido.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de grupos genéticos o clusters.....	6
Figura 2: Reograma de 6 diferentes coberturas de chocolate.....	15
Figura 3: Cambio en esfuerzo cortante y viscosidad aparente con respecto a la velocidad de corte.....	16
Figura 4: Relación de Casson para chocolate.....	17
Figura 5: Seis métodos principales para la determinación de la distribución del tamaño de partículas en alimentos.....	20
Figura 6: Principio de operación del equipo analizador de partículas por análisis dinámico de imágenes.....	21
Figura 7: Influencia del tamaño de partícula en la viscosidad plástica y el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson.....	22
Figura 8: Máquina Refinadora-conchadora de chocolate UNIVERSAL de 500 kg/batch...	28
Figura 9: Tablero de control de la máquina UNIVERSAL de 500 kg/batch.....	28
Figura 10: Esquema de un molino de paletas para el refinado/conchado de chocolate.....	28
Figura 11: Diagrama del procedimiento experimental.....	34
Figura 12: Tamaño de partícula con respecto al tiempo de proceso (Lote 1).....	48
Figura 13: Tamaño de partícula con respecto al tiempo de proceso (Lote 2).....	50
Figura 14: Tamaño de partícula con respecto al tiempo de proceso (Lote 3).....	51
Figura 15: Tamaño de partícula con respecto al tiempo de proceso (Lote 1, 2, 3).....	52
Figura 16: D90 en función del tiempo de proceso (Lote 1).....	55
Figura 17: D90 en función del tiempo de proceso (Lote 2).....	56
Figura 18: D90 en función del tiempo de proceso (Lote 3).....	57
Figura 19: D90 en función del tiempo de proceso (Lote 1, 2, 3).....	58
Figura 20: Tamaño de partícula por ambos métodos en función del tiempo de proceso (Lote 1, 2, 3).....	60
Figura 21: Viscosidad plástica con respecto al tiempo de proceso (Lote 1).....	62
Figura 22: Viscosidad plástica con respecto al tiempo de proceso (Lote 2).....	64
Figura 23: Viscosidad plástica con respecto al tiempo de proceso (Lote 3).....	65
Figura 24: Viscosidad plástica con respecto al tiempo de proceso (Lotes 1, 2, 3).....	66
Figura 25: Esfuerzo mínimo de fluencia con respecto al tiempo de proceso (Lote 1).....	69
Figura 26: Esfuerzo mínimo de fluencia vs tiempo de proceso (Lote 2).....	70
Figura 27: Esfuerzo mínimo de fluencia con respecto al tiempo de proceso (Lote 3).....	72

Figura 28: Esfuerzo mínimo de fluencia con respecto al tiempo de proceso (Lotes 1, 2, 3)...	73
Figura 29: Resumen de los perfiles sensoriales del chocolate a 12 y 20 h de refinado-conchado.....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FORMULARIO PARA LA PRUEBA DE COMPARACIÓN PAREADA: SIMPLE Y DIRECCIONADA.....	104
ANEXO 2: FORMULARIO PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE CHOCOLATE.....	105
ANEXO 3: TABLA CON EL MÍNIMO NÚMERO DE RESPUESTAS CORRECTAS PARA ESTABLECER SIGNIFICANCIA A DIFERENTES NIVELES DE PROBABILIDAD SEGÚN DISTRIBUCIÓN BINOMIAL.....	106
ANEXO 4: DATOS COMPOSICIÓN PROXIMAL DE GRANOS Y NIBS DE CACAO BLANCO DE PIURA.....	107
ANEXO 5: RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE GRANOS Y NIBS DE CACAO BLANCO DE PIURA.....	108
ANEXO 6: DATOS COMPOSICIÓN PROXIMAL DE CHOCOLATE OSCURO REFINADO-CONCHADO A 0 Y 20 H.....	112
ANEXO 7: RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE CHOCOLATE OSCURO REFINADO-CONCHADO A 0 Y 20 H.....	113
ANEXO 8: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (MICRÓMETRO) A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 1.....	117
ANEXO 9: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (MICRÓMETRO) A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 2.....	118
ANEXO 10: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (MICRÓMETRO) A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 3.....	119
ANEXO 11: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (MICRÓMETRO) A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 1, 2 Y 3.....	120
ANEXO 12: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 1.....	121

ANEXO 13: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 2.....	122
ANEXO 14: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 3.....	123
ANEXO 15: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 1, 2 Y 3.....	124
ANEXO 16: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LA VISCOSIDAD PLÁSTICA A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 1.....	125
ANEXO 17: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LA VISCOSIDAD PLÁSTICA A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 2.....	126
ANEXO 18: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LA VISCOSIDAD PLÁSTICA A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 3.....	127
ANEXO 19: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LA VISCOSIDAD PLÁSTICA A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 1, 2 Y 3.....	128
ANEXO 20: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 1.....	129
ANEXO 21: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 2.....	130
ANEXO 22: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 3.....	131
ANEXO 23: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA A DIFERENTES TIEMPOS DE REFINADO-CONCHADO DE CHOCOLATE DEL LOTE 1,2,3.....	132

ANEXO 24: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE PARTÍCULA (MICRÓMETRO) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 1 (P<0,05).....	133
ANEXO 25: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE PARTICULA (MICRÓMETRO) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 2 (P<0,05).....	134
ANEXO 26: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE PARTÍCULA (MICRÓMETRO) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 3 (P<0,05).....	135
ANEXO 27: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE PARTÍCULA (MICRÓMETRO) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 1,2,3 (P<0,05).....	136
ANEXO 28: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE PARTÍCULA (POR ANÁLISIS DE IMAGEN) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 1 (P<0,05).....	137
ANEXO 29: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE PARTÍCULA (POR ANÁLISIS DE IMAGEN) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 2 (P<0,05).....	138
ANEXO 30: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE PARTÍCULA (POR ANÁLISIS DE IMAGEN) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 3 (P<0,05).....	139
ANEXO 31: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE PARTÍCULA (POR ANÁLISIS DE IMAGEN) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 1,2,3 (P<0,05).....	140
ANEXO 32: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA LA VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 1 (P<0,05).....	141
ANEXO 33: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA LA VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 2 (P<0,05).....	142
ANEXO 34: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA LA VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 3 (P<0,05).....	143

ANEXO 35: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA LA VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 1, 2, 3 (P<0,05).....	144
ANEXO 36: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 1 (P<0,05).....	145
ANEXO 37: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 2 (P<0,05).....	146
ANEXO 38: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 3 (P<0,05).....	147
ANEXO 39: MODELO DE REGRESIÓN QUE RELACIONA EL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE REFINADO-CONCHADO DEL LOTE 1,2,3 (P<0,05).....	148
ANEXO 40: DATOS DE ANÁLISIS DESCRIPTIVO CUANTITATIVO (PERFIL SENSORIAL) DEL CHOCOLATE REFINADO-CONCHADO A LAS 12 Y 20 H.....	149
ANEXO 41: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL DESCRIPTIVA CUANTITATIVA DE CHOCOLATE REFINADO A LAS 12 Y 20 H.....	150
ANEXO 42: RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CHOCOLATE OSCURO REFINADO-CONCHADO A 16 H.....	156
ANEXO 43: RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL CHOCOLATE REFINADO-CONCHADO A LAS 16 H.....	157
ANEXO 44: IMÁGENES CAPTURADAS POR EL EQUIPO DE ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN PARTICLE INSIGHT DURANTE EL PROCESO DE REFINADO-CONCHADO.....	160

RESUMEN

Dentro del proceso de elaboración de chocolate, la etapa de refinado-conchado es crucial en el desarrollo de las características sensoriales y de calidad del producto, además implica una etapa que, en comparación a las demás etapas, demanda alto costo por su consumo energético, y mantenimiento. El objetivo principal de este trabajo fue determinar el tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate oscuro fabricado por la empresa Theobroma Inversiones, aplicando el método de Variación No Significativa en Cinética (VNSC). Las propiedades físicas del chocolate: tamaño de partícula (por micrómetro y por análisis de imagen), viscosidad plástica, esfuerzo mínimo de fluencia, durante todo el proceso de refinado-conchado de la Empresa (20 horas) en intervalos de dos horas, fueron evaluadas. A fin de comparar el tratamiento óptimo con el convencional llevado a cabo por la empresa, se realizó una evaluación sensorial llevada a cabo por jueces entrenados. No se hallaron diferencias significativas entre dichos tratamientos. Se obtuvo que, mediante el método VNSC el tiempo óptimo de refinado-conchado fue 16 horas, puesto que no presentó diferencias significativas con respecto al proceso que toma 20 horas.

Palabras claves: Chocolate, Variación No significativa en Cinética (VNSC), viscosidad plástica, esfuerzo mínimo de fluencia, refinado-conchado, tamaño de partícula.

ABSTRACT

Within the process of making chocolate, the refining-conching stage is crucial in the development of sensory characteristics and product quality, it also implies a stage that, in comparison to the other stages, demands high cost for its energy consumption, and maintenance. The aim of this work was to determine the optimal refining-conching time of dark chocolate produced by Theobroma Inversiones company, by applying the method of Non-Significant Variation in Kinetics (NSVK). Physical properties of the chocolate, such as particle size (by micrometer and image analysis), viscosity and yield stress were evaluated throughout the refining-conching process of the company (20 hours), in two-hour intervals. In order to compare the optimal treatment with the conventional one carried out by the company, sensory evaluation was carried out by trained judges, and no significant differences were found. It was obtained that, using the VNSC method, the optimal refining-conching time was 16 hours, since it did not show significant differences with respect to the process that takes 20 hours.

Keywords: Chocolate, Non-Significant Variation in Kinetics (NSVK), plastic viscosity, yield stress, refining-conching, particle size.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la producción y consumo de chocolates y derivados del cacao se han incrementado, por varias razones, como el actual y creciente interés hacia productos sin aditivos y de alto valor nutricional como el cacao o sus derivados, desde compuestos fenólicos, antioxidantes, hasta compuestos antitrombóticos con efectos positivos a la salud (Pascual, Valls y Sola, 2009), lo cual genera importante presencia en la industria. Para el año 2018, el valor del mercado global de chocolates estuvo en 109,5 miles de millones de dólares americanos (Euromonitor, 2019).

Los granos de cacao son la materia prima básica para elaborar chocolate y derivados. De todas las etapas de elaboración de chocolate (tostado, descascarillado, molienda, refinado, conchado, temperado, cristalizado, envasado y almacenamiento), las más relevantes en cuanto a distribución de tamaño de partícula, consistencia, viscosidad y propiedades sensoriales son las etapas de refinado y conchado (Afoakwa, Paterson y Fowler, 2007). El refinado es una operación simple pero importante que produce una textura suave al reducir el tamaño de las partículas de cacao y azúcar. El tamaño de las partículas sólidas dispersas debe ser lo suficientemente pequeño como para ser aceptable al consumidor, y apto para etapas posteriores, como la del temperado de chocolate (Beckett, 2008). La operación unitaria que se da, muchas veces, a la par con el refinado es el conchado. El conchado es un proceso que agrupa acciones de mezclado, agitado y aireado, en el que las sustancias amargas y sabores no deseables se evaporan con el vapor de agua presente en la masa de chocolate; además contribuye al desarrollo de la viscosidad, textura final y sabor (Capodiecì, 1993, citado por Tan y Balasubramanian, 2017). El refinado es crítico para el procesamiento del chocolate porque se produce la mayor reducción del tamaño de partícula y se desarrolla la microestructura de las partículas, produciendo una textura lisa en la que no puede detectarse sensación de arenosidad por la lengua (Lucisano, Casiraghi, Mariotti, 2006).

El proceso de refinado y conchado puede realizarse en equipos independientes o en un mismo equipo de manera simultánea. Un equipo flexible para la fabricación de chocolates y derivados es la mezcladora/refinadora/conchadora UNIVERSAL, que realiza las funciones de molienda de cacao y azúcar, mezclado y refinado de ingredientes, así como el conchado (Lloveras, 2014). Este equipo realiza dichas funciones a través de palas rotativas. Para dichas operaciones unitarias, el tamaño de partícula y la reología del chocolate, son factores importantes que deben tomarse en cuenta. En una mezcladora/refinadora/conchadora se involucran ciertos controles a nivel industrial como: velocidad de giro, nivel de ajuste de palas, y temperatura de chaqueta. Este proceso toma de 12 a 24 horas para llegar un tamaño de partícula de 20 μm , comúnmente requerido por la industria chocolatera (Afoakwa *et al.*, 2007). Actualmente, la empresa Theobroma Inversiones realiza este proceso en 20 horas. De hecho, la eficiencia del refinado/conchado resulta muy importante para los fabricantes de chocolate pues la inversión de tiempo y costo energético afecta el costo de producción del producto final. Por ello, el objetivo principal de la investigación fue: Determinar el tiempo óptimo de refinado-conchado con las características físicas y sensoriales apropiadas para el producto, a través del método de Variación No Significativa en Cinética (V.N.S.C.).

Los objetivos específicos fueron:

- Realizar el análisis proximal de granos y nibs de cacao blanco (procedente de Piura) por análisis proximal.
- Medir el tamaño de partícula (por el método del micrómetro y por el método de análisis de imagen), la viscosidad plástica y el esfuerzo mínimo de fluencia del chocolate durante toda la operación de refinado-conchado (20 horas).
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas (proximal) del chocolate no refinado-conchado (0 h) y refinado-conchado (20 h), convencionalmente.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas (proximal), físicas (tamaño de partícula, viscosidad plástica, esfuerzo mínimo de fluencia) y sensoriales del chocolate obtenido con el proceso optimizado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CACAO (*Theobroma cacao L.*)

2.1.1. ACTUALIDAD

La producción anual de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el Perú, se ha venido incrementando de forma acelerada en los últimos años, en el año 2000 la producción de cacao en grano fue de 24,8 mil toneladas, al año 2008 se había elevado a sólo 34 mil toneladas, a partir del 2009 se observó un fuerte crecimiento de la producción nacional, de manera que, de 36,8 mil toneladas producidas en el 2009, se elevó en los siguientes años hasta las 87,3 mil toneladas en el 2015; finalmente, al término del año 2018 se produjeron 135 mil toneladas (INEI, 2019; Euromonitor, 2019). Esto va de la mano con el desarrollo de la industria chocolatera en el Perú de forma dinámica e innovadora, que a su vez está fuertemente vinculada con otras actividades económicas de importancia como la del azúcar, lácteos, entre otros (Vásquez, 2009).

2.1.2. DESCRIPCIÓN DEL CACAO

Theobroma cacao L., es una de las más importantes especies de los bosques húmedos tropicales. Es una especie endémica de América del Sur, cuyo centro de origen se encuentra localizado entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo, afluentes del río Amazonas (Chessman, 1944). Los árboles son relativamente pequeños, de 12 a 15 m de altura, y crecen naturalmente en el piso más húmedo de la selva tropical. Sus hojas son perennes, pueden llegar a tener 300 mm de longitud. El árbol de cacao puede dar mazorcas después de 2 a 3 años, pero es a los 6 o 7 años que dan su máximo rendimiento (Beckett, 2008). Sus frutos (vainas) contienen las semillas, que son la principal materia prima aprovechable del cacao que terminan en derivados que se comercializan: chocolate y manteca de cacao (Kalvatchev, Garzaro y Guerra, 1998).

2.1.3. GENOTIPOS DEL CACAO

El cacao ha sido clasificado tradicionalmente en cuatro cultivares (en adelante llamados genotipos): Criollo, Forastero, Trinitario y Nacional (Counet, Ouwerx, Rosoux, y Collin, 2004). Estos, se diferencian por sus características morfológicas de acuerdo al lugar de origen o de procedencia (Chessman, 1944).

A continuación, se hará una descripción de los 4 genotipos tradicionales de cacao:

- a. Criollo: Se cultiva en Perú, Venezuela, Honduras, Colombia, Ecuador, Nicaragua, Guatemala, Trinidad, Bolivia, Jamaica, México, Granada; y en el Caribe, en la zona del océano Índico y en Indonesia. De toda la producción mundial representa del 5 al 8 por ciento, esto debido a que su cultivo es muy difícil. Dicha situación influyó a que disminuyan las áreas de cultivo (MINAGRI-DGPA-DEEIA, 2016).
- b. Forastero: se le considera como cacao ordinario nativo de Brasil, Perú, Bolivia y Colombia. Cultivado en: Perú, Ecuador, Colombia, Brasil Guayanas y Venezuela. Es el cacao de mayor producción en países de África y Asia. Se caracteriza por ser más resistente a plagas pero poco aromático (MINAGRI-DGPA-DEEIA, 2016).
- c. Trinitario: Es un híbrido entre el Criollo y el Forastero, aunque su calidad es más próxima al segundo. Representa entre el 10 al 15 por ciento de la producción mundial y se le considera más aromático que el Forastero y más resistente que el Criollo (MINAGRI-DGPA-DEEIA, 2016).
- d. Nacional: Es un cultivar considerado “nicho”, que crece en Ecuador. La diferencia genética con el cultivar Criollo es mínima (Saltini, Akkerman y Frosch, 2013).

El MINAG (2012) también cataloga al Cacao Blanco fino de aroma como especie nativa de Piura-Perú. Las zonas de Huancabamba y Morropon de la región Piura, hoy en día son zonas cacaoteras y forman parte de los sistemas de cultivos destinados al autoconsumo y de poco valor económico. El Cacao Blanco de Piura se diferencia de otros genotipos por el color blanco de sus semillas, quedando fuera de los descriptores de otras variedades y/o cultivares investigados como el Cacao Criollo de Centroamérica y Venezuela.

Estos genotipos, dieron origen a poblaciones que forman una amplia diversidad genética tanto en estado silvestre como cultivado. Esta diversidad tiene su origen en el sistema de reproducción sexual; en el sistema genético de incompatibilidad; en el sistema de polinización cruzada, en la recombinación genética (García, 2014). Como se mencionó previamente, antes se consideraba al “Criollo” y “Trinitario” como cultivares tradicionales en lugar de grupos genéticos, debido a que, no existía una buena clasificación de *T. cacao* basada en resultados de análisis a nivel molecular (Motamayor, Risterucci, Lopez, Ortiz y Moreno, 2002). Sin embargo, según estudios realizados a nivel molecular por Motamayor *et al.* (2008), se propone una nueva clasificación de germoplasma del cacao en 10 grupos genéticos (Figura 1), que son: Amelonado, Criollo, Guayana, Purús, Marañón, Curaray, Iquitos, Nanay, Contamana, y Nacional. De los cuales, los seis últimos corresponden a la Colección Nacional (Perú). Esta clasificación reflejó con mayor precisión la diversidad genética, en lugar de la clasificación tradicional como Criollo, Forastero o Trinitario. Cabe mencionar que el Cacao Blanco nativo de Piura no corresponde a ninguno de estos seis grupos genéticos (Motamayor *et al.*, 2008).

Más adelante, en una presentación en la Conferencia Internacional de Productores de Cacao celebrada en Indonesia, Motamayor *et al.* (2009), citado por Zhang, Mischke y Meinhardt (2012), agregó el cacao Beni como uno de los tres nuevos grupos de germoplasma (los otros dos eran grupos de Huallaga y Ucayali), basándose en los datos de repetición de secuencia simple (SSR=Simple sequence repeat) de veinte accesiones bolivianas, con este estudio se pudo clarificar aun más el perfil genético único del germoplasma del Cacao Nacional Boliviano (CNB), el cual resulta genéticamente diferente de otros grupos de germoplasma reportados en América del Sur.

Y recientemente, en un estudio de Arevalo-Gardini *et al.* (2019), se realizó la comparación genética de 13 grupos germoplásmicos (cacao blanco nativo Piura, o también llamado “Piura Porcelana”, poblaciones silvestres del río Santiago-Morona, junto con los 11 grupos genéticos de referencia, propuestos por Motamayor *et al.* (2008) y Zhang *et al.* (2012)). En dicho estudio se obtuvo, a través de un análisis Bayesiano, se agrupaban en 11 grupos (Nacional, Guyana francesa, LCT EEN (Curacay), IMC (Iquitos), Nanay, Parinari (Marañón), Ucayali (Contamana), Purus, Criollo, Amelonado, Santiago-Morona/Piura Porcelana) puesto que todas las accesiones del cacao “Piura Porcelana”, así como el del río Santiago-Morona, fueron asignados a la misma ascendencia con el grupo de referencia de

cacao Nacional. Es así que se demostró que el cacao “Piura Porcelana” es indígena del norte del Perú y sus ancestros silvestres son de los valles del río Santiago-Morona; asimismo, que comparte un ancestro similar al cacao Nacional de Ecuador, pero el de Piura representa un propio varietal único.

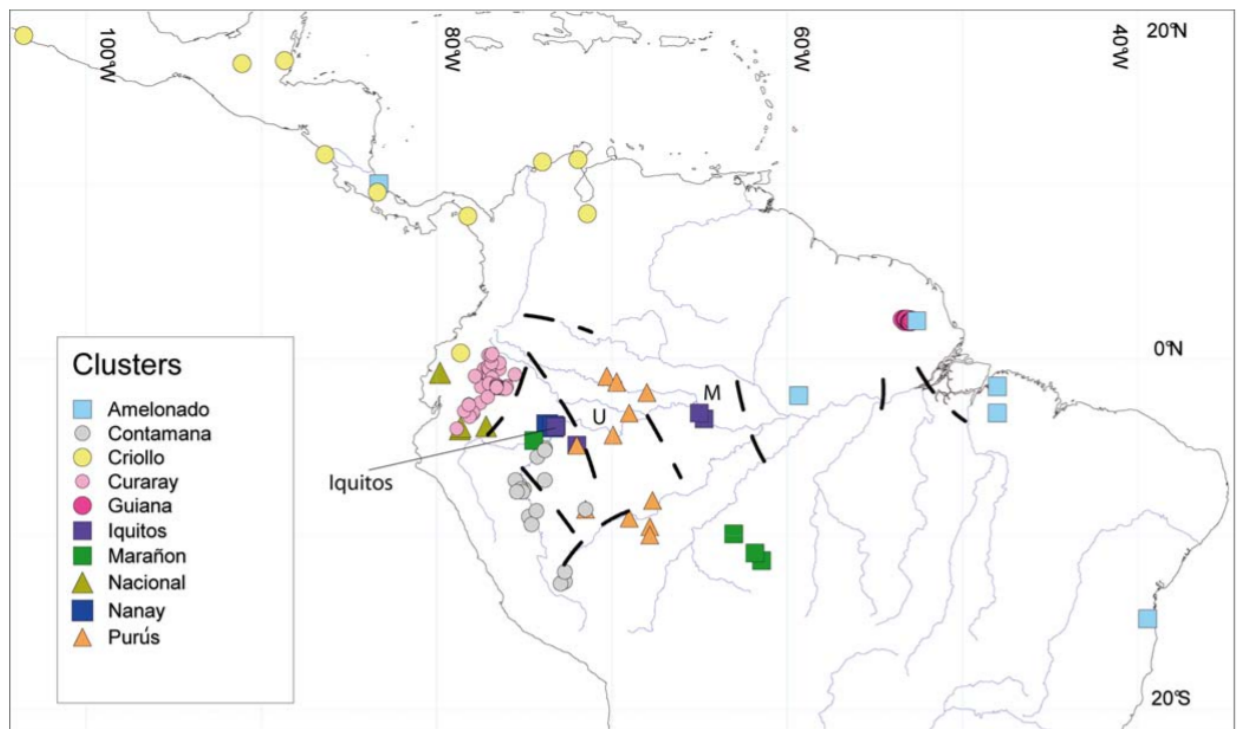


Figura 1: Mapa de grupos genéticos o clusters

FUENTE: Tomado de Motamayor *et al.* (2008)

2.1.4. COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA

En la Tabla 1, se muestra la composición físico química de los granos de cacao crudos (fermentado y seco), es decir, tal cual llegan a las plantas de procesamiento para ser convertidos en chocolate.

Tabla 1: Composición proximal del grano de cacao fermentado y seco

Referen- cias	PORCENTAJE DE COMPONENTES					
	Humedad (%)	Grasa cruda (%)	Proteína cruda (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Carbohidratos (%)
A	5,01 ± 0,23	45,63 ± 4,52	14,34 ± 0,56	2,83 ± 0,23	-	-
B	5,90 ± 0,60	41,20 ± 0,80	17,90 ± 0,30	7,30 ± 0,40	-	27,70 ± 0,10
C1	5,95 ± 0,00	43,46± 0,03	12,79 ± 0,00	4,03± 0,00	19,47± 0,03	33,79± 0,02
C2	5,11 ± 0,00	41,93 ± 0,01	12,82 ± 0,01	3,56 ± 0,02	11,30 ± 0,02	36,58 ± 0,02
D	6,00 ± 0,10	47,30 ± 0,20	14,20 ± 0,30	2,20 ± 0,20	5,70 ± 0,20	30,20 ± 0,30
E	5,40 ± 0,00	41,20 ± 0,80	19,90 ± 0,30	7,30 ± 0,40	-	27,70 ± 0,10

FUENTE: (A) Hu, Kim y Baik (2016) Var.Forastero (Ghana) (B) Djikeng *et al.* (2018) Var. Trinitario (Camerún) (C) Torres-Moreno, Torrescasana, Salas-Salvadó y Blanch (2015): C1=No indica variedad (Ecuador) y C2= No indica variedad (Ghana) (D) Rivera (2018) CCN-51 (Perú) (E) Loo (2019) CCN-51 (Perú)

2.2. EL CHOCOLATE

2.2.1. DEFINICIÓN

El chocolate se puede definir como una dispersión alimentaria en la que la fase continua es la manteca o grasa de cacao y la fase dispersa son las partículas de cacao y azúcar molidos (Johansson y Bergensthal, 1992). Si el chocolate tuviera leche en su composición, se considera al chocolate como un sistema complejo de suspensión de partículas sólidas (cacao, azúcar, componentes lácteos, aditivos) en una fase grasa continua que consiste en manteca de cacao, grasa de leche y emulsionantes (Beckett, 2008; Pajin *et al.*, 2013). Los chocolates son sólidos a temperatura ambiente (20 – 27°C) y se derriten a temperatura corporal (37°C) durante su consumo (Afoakwa, 2010).

En el caso de chocolates oscuros (no incluye leche en su composición), la normativa peruana lo clasifica en chocolate oscuro, chocolate dulce/familiar y cobertura de chocolate. Para el caso de los productos etiquetados como “chocolate” o “chocolate oscuro” indica que su composición 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. La adición de grasas vegetales distintas de la manteca de cacao no debe ser mayor al 5 por ciento del producto terminado. Para el caso de coberturas de chocolate indica que debería contener, en extracto seco, no menos del 35 por ciento de extracto seco total de cacao, del cual no menos del 31

por ciento será manteca de cacao y el 2,5 por ciento, por lo menos, extracto seco magro de cacao (INACAL, 2017).

2.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE

La producción del chocolate involucra complejos procesos físicos y químicos que determinan las características reológicas, desarrollo del sabor y aroma, propiedades de fusión y finalmente el carácter de la percepción sensorial (Afoakwa *et al.*, 2007; Afoakwa *et al.*, 2008a).

2.3.1. TOSTADO

Una de las etapas más relevantes en el proceso productivo es someter los granos al tostado. La elección de las condiciones de tostado va a depender del tipo de grano, tiempo de cosecha, localización de origen, tratamiento post-cosecha, aroma y sabor deseado en el producto final (más importante). Los precursores de sabor se forman durante los procesos post-cosecha (cosecha, apertura, fermentación y secado de cacao), es decir, los sabores de cacao se desarrollan durante dos etapas: la fermentación y tostado (Chichester, 1977). El tostado por convección es comúnmente utilizado, en el cual la temperatura fluctúa entre 130-150°C por 15-45 minutos, aquí se forma el sabor a chocolate deseado mediante la reacción de Maillard (reacción entre aminoácidos y azúcares de los granos de cacao) (Ramli *et al.*, 2006; Serra y Ventura, 2002). Además, en esta operación se disminuye la acidez reduciendo las concentraciones de ácidos volátiles tales como el ácido acético, pero no los no-volátiles tales como los ácidos oxálico, cítrico, tartárico, succínico y láctico (Awua, 2002). Por temas de inocuidad, la alta temperatura en conjunto con la humedad remanente de los granos, eliminará contaminantes como la bacteria patógena Salmonella, que podría estar presente en los granos desde que fueron secados en el campo abierto (Beckett, 2008). Finalmente, el tostado del grano completo libera la cascarilla que luego se extrae fácilmente durante el aventado o descascarillado, que es la siguiente operación unitaria.

2.3.2. DESCASCARILLADO

El descascarillado es el proceso en que se separa la cascarilla y parte del germen del resto del haba. El mecanismo consiste en romper los granos de cacao previamente tostados en

trozos grandes, seguido de la aspiración con aire (hacia arriba) a la mezcla, la cáscara que es más ligera y con su mayor superficie, subirá mientras que los trozos de cacao sin cascarilla (llamados “nibs”) que son más pesados caerán para su posterior procesamiento (Hoskin, 1994, citado por Varzakas y Tzia, 2016; Beckett, 2008).

2.3.3. MOLIENDA

En esta operación el elemento de entrada son los nibs de cacao. La molturación de los nibs de cacao tiene dos objetivos. El primero es hacer que las partículas de cacao sean lo suficientemente pequeñas como para fabricar chocolates. Muchas máquinas se utilizan para la molienda de nibs de cacao, y estas incluyen molinos de piedra, molinos de discos, molinos de martillos y molinos de bolas (Afoakwa, 2010). En esta operación se genera fricción constante que hace que la manteca de cacao se derrita, y fluya, formando la pasta o el licor de cacao (elemento de salida). Hay una molturación posterior en el proceso de fabricación del chocolate (el refinado), de modo que no es necesario realizar una molienda muy fina en esta etapa. El segundo objetivo de la molienda, de mayor importancia en cuanto a costos, es la extracción de la mayor cantidad posible de grasa o manteca de cacao, del interior de las células del cotiledón (Beckett, 2008).

2.3.4. REFINADO

En esta etapa se incluye el mezclado o integración de los ingredientes principales (pasta de cacao, azúcar, leche en polvo, etc.) y reducción del tamaño de partículas de estos. Beckett (2008), recomienda que primero se realice un pre-refinado que ayude a reducir el tamaño de partícula previo al refinado final, ya que las partículas deben reducirse de medir varios milímetros a medir por debajo de los 30 micras (μm).

Tan y Balasubramanian (2017) menciona que todos los procesos de manufactura del chocolate como: la fermentación, tostado, quebrado, descascarillado, molienda, refinado, conchado, temperado, transporte y almacenamiento, tienen influencia en la calidad final del chocolate. Pero se resalta que el refinado y conchado son muy importantes puesto que, determinan el tamaño y distribución de las partículas, la consistencia de la suspensión, la viscosidad, hasta las cualidades sensoriales como la apariencia, la sensación en boca y la textura de los productos de chocolate (Afoakwa *et al.*, 2007).

En esta operación, las partículas sólidas son molturadas por diferentes refinadores para convertir la mezcla en una suspensión uniforme con una distribución de tamaño apropiada de partículas sólidas (Beckett, 2008). Generalmente estas son refinadas a un tamaño de partícula inferior a 30 μm , normalmente usando una combinación de refinadores de dos a cinco rodillos. De hecho, el proceso tradicional se realiza por refinado con rodillos, en la que las partículas son obligadas a pasar una serie de espacios que disminuyen en ancho (en el caso del refinador de cinco rollos habitual, serían cuatro espacios) (Ziegler y Hogg, 2009; Gavrilović, 2000, citado por Fišteš y Rakić, 2015). Sin embargo, existen diversos equipos para el refinado, similares a los mencionados para la molienda: refinador de bolas, refinador de espas, refinador de rodillos, refinador de piedras (cilíndricas y cónicas). El tiempo de proceso será determinado por la cantidad de material a procesar y de la configuración del equipo en que se realice, lo usual es que el refinado/conchado tome aproximadamente 12-24 horas (Tan y Balasubramanian, 2017; Afoakwa, 2010). Según Beckett (2009), la reducción del tamaño de partícula consume mucha energía, y los requisitos de energía aumentan a medida que el tamaño promedio de partícula se vuelve más pequeño.

2.3.5. CONCHADO

El conchado es una de las etapas de mayor importancia para el desarrollo del sabor del chocolate. Se trata de un proceso de alto e intenso consumo de energía y de tiempo debido al continuo mezclado, agitado, y aireado del fluido de chocolate caliente. La finalidad de esta operación unitaria es la eliminación de sabores no deseados y sustancias amargas junto con el vapor de agua a través de su volatilización, ocurre una modificación bioquímica como resultado del calentamiento y la agitación (Capodiecì, 1993; Stephen, 2006, citados por Fatma y Ali, 2017). El conchado se realiza agitando el chocolate a más de 50°C por algunas horas. En esta etapa, la humedad es reducida con la remoción de compuestos volátiles indeseables activos como el ácido acético, y subsecuentemente la interacción en la dispersión empieza. El tiempo de conchado varía de acuerdo al tipo de chocolate que se desee elaborar: para chocolates con leche varía de 10 – 16 horas a 49 – 52°C, con leche en polvo el tiempo es de 16 – 24 horas a temperaturas superiores a 60°C, y para chocolates «dark» a temperaturas entre 70 – 82°C (Afoakwa, 2010). En el caso de los chocolates suizos el conchado se realiza durante 72 h, para obtener características sensoriales apropiadas (Cidell y Alberts, 2006). El elemento de salida de esta operación unitaria es el “chocolate en masa”.

Por otro lado, Bolenz, Thiessenhusen y Schape (2003) afirman que para el conchado de chocolates oscuros y de leche se requieren de 5 a 12 horas. Estudios recientes que han buscado optimizar el tiempo de conchado se han basado en las cantidades mínimas de ácidos, alcoholes y cantidades mínimas de pirazinas, aldehídos y cetonas, tal es el caso de Fatma y Ali (2017), reportando como tiempo óptimo de conchado 7 horas a 80°C, por el método de superficie de respuesta.

Los sistemas de conchado pueden clasificarse en dos grupos principales: convencionales y compactos. Los convencionales incluyen conchadoras de varios diseños y los compactos incluyen los sistemas de refinado/conchado (refinador de bolas) o premezclado/refinado/conchado (Netzch y Macyntre), estos últimos también conocidos como sistemas universales. Los sistemas universales son preferidos para coberturas de chocolate y derivados de bajo costo, mientras que los sistemas convencionales con diferentes diseños se prefieren para la producción de chocolate real, los cuales pueden atribuirles ventajas significativas como el desarrollo de aromas (Beckett *et al.*, 2017; Saputro *et al.*, 2019; Aidoo *et al.*, 2014). La máquina Universal consiste en una chaqueta de agua que permite calentar o enfriar la masa de chocolate, mientras que el aire con ventilación forzada elimina la humedad y otros compuestos volátiles. Este tipo de maquinaria utiliza la fuerza de cizalla para realizar la molienda y refinado, y tiene incluido el mecanismo que permite el conchado del chocolate. Asimismo, Beckett (2009) afirma que en este tipo de sistemas universales es posible producir un chocolate de finura determinada durante un período de 12 horas o más, y se pueden producir lotes de entre 45 kg y 5 toneladas a la vez. Por otro lado, menciona que la principal desventaja de este tipo de máquina es que es difícil optimizar las propiedades de flujo y el sabor del producto final, cuando la máquina se usa sin ningún accesorio externo.

2.3.6. ATEMPERADO

El atemperado implica una pre-cristalización de una pequeña porción de triglicéridos, con la formación de núcleos (1 – 3 por ciento) para mantener los lípidos en la forma correcta. Se busca inducir la formación de cristales de la manteca de cacao de una forma más termodinámicamente estable, a fin de brindar buenas características de rompimiento, contracción, brillo y vida útil del producto. Existen seis tipos de formas en las que puede formarse los cristales de un chocolate, de las cuales se desean alcanzar las del tipo V y VI,

debido a que son las más estables y compactas, resultando en un chocolate con características adecuadas de textura, con mayor tiempo de vida y menor defecto de eflorescencia grasa (Beckett, 2008). El atemperado consta de cuatro pasos claves: derretimiento a 50°C, enfriamiento al punto de cristalización a 32°C, cristalización a 27°C y conversión de algún cristal inestable a 29 – 31°C (Afoakwa *et al.*, 2008a,b).

2.3.7. MOLDEADO Y ENFRIADO

El chocolate se moldea en tabletas, se puede hacer de forma manual o mecánica pasándolo por unas cabezas dosificadoras que llenan por igual los moldes. El ambiente adecuado para realizar esta operación es a 18-20°C de preferencia, y a una humedad relativa menor al 60 por ciento, por lo que se requiere de un mecanismo que deshumidifique el ambiente de trabajo, esto evitará que ante al cambio de temperatura no haya condensación alguna en el chocolate. Los moldes se someten a una serie de vibraciones para eliminar las burbujas de aire que pudieran haberse formado al llenar con chocolate los moldes. Como lo menciona Gray (2008), el chocolate al ser un fluido no newtoniano, requiere de un esfuerzo para comenzar a moverse, el mismo que se necesita para evitar las burbujas en el chocolate de manera fácil. Luego entran a un túnel o cava, a baja temperatura, de aproximadamente 16-17°C, que enfriará uniformemente el chocolate hasta endurecerlo y darle su forma definitiva. Cuando la masa se enfría se contrae más que el molde, por lo que solo con darle la vuelta se desprende y se desmolda para finalmente ser envasado.

2.4. PROPIEDADES DEL CHOCOLATE

2.4.1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL CHOCOLATE

a. Composición proximal

Los sólidos de cacao (pasta de cacao), manteca de cacao, azúcar y lecitina como emulsionante son los ingredientes principales para la elaboración del chocolate. Por lo tanto, los principales componentes nutricionales en el chocolate son carbohidratos, grasas y proteínas (Bobadilla, Ruiz y Rojas, 2017). En la Tabla 2, se muestran valores de la composición proximal de chocolates de Venezuela (para taza), Ghana, Ecuador (al 51 por ciento de cacao), y Perú (al 70 por ciento de cacao). Asimismo, se reportan resultados para chocolate peruano del tipo cobertura.

Tabla 2: Composición proximal del chocolate oscuro

Referencias	Humedad (%)	Grasa cruda (%)	Proteína cruda (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Carbohidratos totales (%)
A	-	40,00 ± 0,20	7,90 ± 0,10	2,10 ± 0,00	11,10 ± 0,10	38,87 ± 0,20
B1	1,40 ± 0,00	30,70 ± 0,00	6,40 ± 0,00	1,60 ± 0,00	1,70 ± 0,00	59,90 ± 0,00
B2	1,40 ± 0,00	30,20 ± 0,00	6,40 ± 0,00	1,50 ± 0,00	1,70 ± 0,00	60,40 ± 0,00
C	1,82 ± 0,03	32,72 ± 0,21	6,47 ± 0,04	1,81 ± 0,03	3,24 ± 0,09	53,95 ± 0,07
D	1,05 ± 0,48	32,61 ± 1,06	-	1,70 ± 0,32	-	-
E	1,60 ± 0,02	34,56 ± 0,03	11,69 ± 0,01	2,64 ± 0,01	3,55 ± 0,03	49,52 ± 0,03

FUENTE: (A) Mejía, Ruiz, Portales y Rojas (2017) Piura 70 por ciento de cacao (B) Torres-Moreno *et al.* (2015): B1= Ecuador, B2= Ghana (C) Bobadilla *et al.* (2017) Arequipa 52 por ciento de cacao (D) Chire, Valdivia, Orihuela y Ureña (2017) chocolates fabricados de Perú (E) Chire (2019) 70 por ciento de cacao

2.4.2. PROPIEDADES FÍSICAS

a. Propiedades reológicas

El chocolate se comporta como un fluido no newtoniano exhibiendo un comportamiento de plástico no ideal que sufre fluidificación por cizalla (Glicerina y Romani, 2017; Bourne, 2002).

En la fabricación de chocolate, la reología usualmente se cuantifica en dos parámetros específicos: la viscosidad (η) y el esfuerzo mínimo de fluencia (τ_0). Es sumamente importante que ambos parámetros figuren dentro de las especificaciones para la aplicación específica (Gonçalves y Lannes, 2010; De Graef, Depypere, Minnaert y Dewettinck, 2011). Si bien recientemente se han desarrollado y aplicado modelos reológicos que describen bien el comportamiento del chocolate (Ley de la Potencia, Wind-Hab), el que se ha utilizado ampliamente es el modelo de Casson (Glicerina y Romani, 2017). Estas propiedades reológicas pueden explicarse de la siguiente manera:

- **Viscosidad:** o también conocida como viscosidad plástica, se define como la energía requerida para mantener el fluido en movimiento (Ziegler y Hogg, 2009). Sus unidades se expresan en Pascal-segundo (Pa.s). Es una característica reológica importante para el bombeado, mezclado, y operaciones de transporte (Servais, Jones, Roberts, 2002). La viscosidad plástica o de Casson (η_{CA}) es la primera derivada de la curva esfuerzo-tasa de corte, mostrada en la Figura 2 (Flores, Chire y Lescano, 2016). La viscosidad plástica

también representa la pendiente elevada al cuadrado de la línea recta que representa la intersección de $(1+a)\sqrt{\tau}$ versus $(1+a)\sqrt{\eta * \dot{\gamma}}$ (modelo reológico de Casson modificado por Steiner), como se observa en la Figura 4.

- **Esfuerzo mínimo de fluencia:** o también conocido como valor mínimo de fluencia (“yield stress”). Cuando la tensión aplicada a un material está por debajo de un cierto valor ($\tau < \tau_0$), el material muestra poca o ninguna deformación, mientras que cuando la tensión supera un cierto valor ($\tau > \tau_0$), el material comienza a fluir. Este último valor es considerado como esfuerzo mínimo de fluencia (Banerjee *et al.*, 2010). Esta propiedad denota la transición entre los comportamientos pseudosólido y pseudoplástico o la transición de la deformación elástica a la deformación viscosa (Gonçalves y Lannes, 2010). A bajos valores de esfuerzo mínimo de fluencia proporcionará revestimientos delgados mientras que, a altos valores, sería apropiado para aplicarse como gotas de chocolate (Flores *et al.*, 2016). El esfuerzo mínimo de fluencia se ve afectado por la interacción partícula-partícula, cantidad de partículas, área de superficie específica, emulsionantes y la humedad (Servais *et al.*, 2004; Afoakwa *et al.*, 2007). También se puede afirmar que el esfuerzo mínimo de fluencia indica cuán fuertemente se encuentran atraídos los ingredientes unos con otros (Laughter, Brown y Anantheswaran, 2012). En la Figura 4, se observa que el esfuerzo mínimo de fluencia ajustado al modelo de Casson modificado por Steiner se calcula dividiendo el intercepto del eje Y de la curva de $(1+a)\sqrt{\tau}$ versus $(1+a)\sqrt{\eta * \dot{\gamma}}$, entre dos y elevándolo al cuadrado.

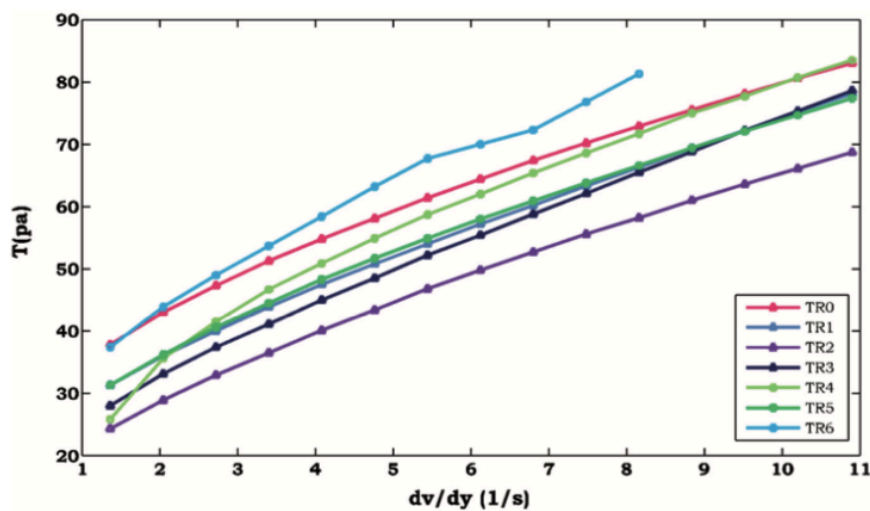


Figura 2: Reograma de 6 diferentes coberturas de chocolate

FUENTE: Tomado de Flores *et al.* (2016)

Las propiedades reológicas afectan el comportamiento en la cavidad oral, consistencia, sensación en boca, así como calidad, aroma y estabilidad del producto final (Glicerina y Romani, 2017). Por ello, están directamente relacionadas a la calidad del producto, un claro ejemplo podría referir a las pérdidas que ocurren en la producción cuando hay deformaciones durante el moldeado de chocolate tiene una relación directa con las propiedades reológicas y comportamiento de flujo del mismo (Toker *et al.*, 2019).

La reología del chocolate fluido está determinada por varios factores, como en todo sistema de dispersión, la cantidad (en volumen) de partículas dispersas juegan un rol fundamental (Beckett, 2009). Diversos estudios han demostrado que las propiedades reológicas del chocolate oscuro se ven influenciadas por: intensidad y tiempo del refinado, distribución del tamaño de partículas, forma y tamaño de partículas, cantidad y tipo de emulsificantes (Rohm, Bohme y Skorka, 2018; Saputro *et al.*, 2019).

Fernandes (2011) menciona que el chocolate es una suspensión en una fase grasa continua, y se comporta como un material no-newtoniano, tal y como se muestra en la Figura 3, en la que según Beckett (2008), afirma que cuando se aplica una deformación a bajas velocidades, las partículas ejercen una resistencia entre ellas, mostrando una viscosidad aparente alta. Una vez que la fuerza ejercida supera la resistencia, las partículas se mueven con el flujo y ya no ejercen mucha resistencia, reduciendo la viscosidad del sistema (Beckett, 2008).

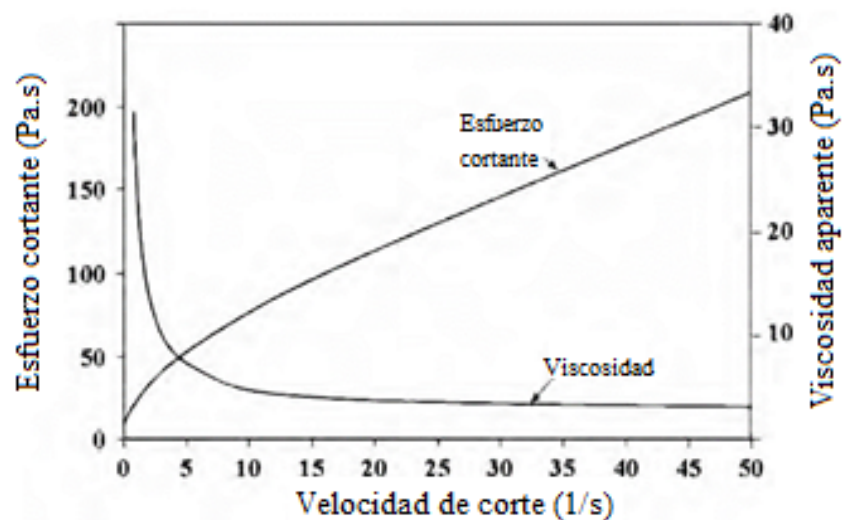


Figura 3: Cambio en esfuerzo cortante y viscosidad aparente con respecto a la velocidad de corte

FUENTE: Tomado de Beckett (2008)

Desde 1973, la Asociación Internacional de Confeitería (ICA, 2000), anteriormente IOCC, aceptó que las mediciones reológicas de chocolate fundido deben tomarse utilizando viscosímetros rotatorios con cilindros concéntricos (geometría de husillo y cilindro hueco). En los Estados Unidos, la Asociación de Fabricantes de Chocolate (CMA) y Asociación de fabricantes de chocolate (NCA/CMA) adaptó el método de medición tradicional, a fin de determinar las propiedades reológicas de chocolate. La Industria del chocolate utiliza la versión de la ecuación de NCA/CMA Casson para evaluar al chocolate antes del procesamiento final. Esta ecuación aproxima bastante bien el comportamiento plástico del chocolate (AMETEK, Brookfield, 2017).

Las curvas experimentales a obtener por el reómetro Brookfield, serán representadas como se observa en la Figura 3 y en la Figura 4, en donde se estudiará cómo se comporta el esfuerzo cortante y la viscosidad con respecto a la velocidad o tasa de corte; y la gráfica del modelo reológico de Casson, respectivamente. Para entender cómo se realiza la gráfica mostrada en la Figura 4, se colocaron los datos en una hoja Excel para posteriormente conocer: la tasa de corte ($\dot{\gamma}$, 1/seg) y el esfuerzo de corte (Pa) a cada valor de rpm, seguidamente todos los datos se colocaron en la ecuación de Casson modificada por Steiner: $(1+\alpha) (\tau)^{0.5} = 2(\tau_{CA})^{0.5} + (1+\alpha) (\eta_{CA} * \dot{\gamma})^{0.5}$ y se grafican en hoja Excel, se realizó una regresión lineal, representada por la línea recta de la Figura 4, a partir de ella se determina la pendiente y el intercepto.

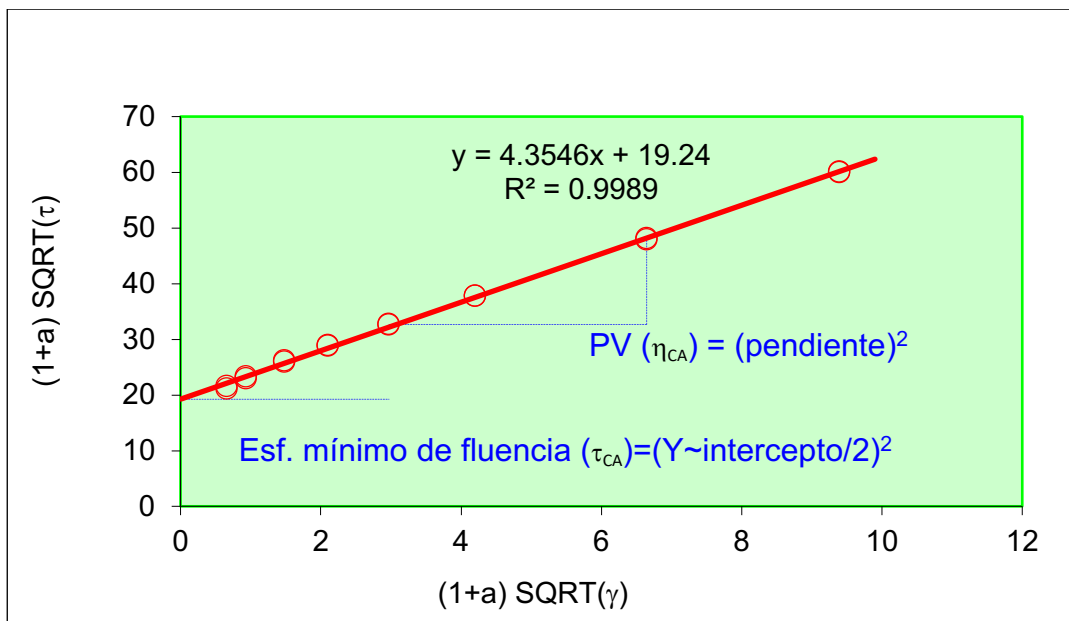


Figura 4: Relación de Casson para chocolate

FUENTE: Tomado de Beckett (2009)

b. Tamaño de partícula

Beckett (2009) menciona que el tamaño de partícula más grande es un parámetro clave para la producción de chocolate y juega un rol crítico en la dureza, propiedades sensoriales, y otras propiedades del chocolate, asimismo se afirma que las partículas más pequeñas son las responsables de afectar las propiedades de flujo (Mongia y Ziegler, 2000). El tamaño de partícula en barras de chocolates oscuros debería fluctuar entre 10-12 μm (micras), valores muy pequeños, es decir, con mayor finura, mientras que en el caso de coberturas de chocolate, comúnmente utilizadas para recubrimiento en barra, tiene tamaños de partícula de 20 a 40 μm (Morgan, 1994; citado por De Brujine y Bot, 2001). Tanto el tamaño de partícula como las propiedades de flujo del chocolate son factores de vital importancia para determinar la viscosidad y textura del producto final (Minifie, 1999).

Si las partículas son demasiado gruesas, la sensación en la boca es descrita como «gritty» o áspera y algunos fabricantes lo rechazarán. Por el contrario, si la molienda es demasiado fina en un intento de eludir esa aspereza, se corre el riesgo de producir una excesiva cantidad de material fino, produciendo una sensación denominada «sickly» o empalagosa (IESMAT, s.f).

Los valores de tamaño de partícula de chocolate son influenciados por su procesamiento y formulación, se menciona que el tamaño de partícula de chocolate oscuro debería tener menos de 35 μm de diámetro (Awua, 2002). Cabe mencionar que la reducción del tamaño de partículas involucra un incremento de los puntos de contacto partícula-partícula y también contribuye a un mayor valor de esfuerzo mínimo de fluencia (Sokmen y Gunes, 2006; Afoakwa *et al.* 2009; Glicerina *et al.*, 2015). Sin embargo, hay estudios que afirman que si bien el tamaño de partículas es crucial para modificar las propiedades reológicas del chocolate, existen otros factores como la cantidad de grasa en la formulación, puesto que se distribuye en la dispersión cubriendo la mayoría de partículas, incrementando el movimiento y fluidez (Glicerina *et al.*, 2015).

Existen, cada vez más, estudios que muestran una estricta relación entre las propiedades microestructurales y el esfuerzo mínimo de fluencia de productos de chocolate, las cuales son fuertemente influenciadas por el proceso (mezclado, pre-refinado, refinado, conchado, temperado) y la formulación (Glicerina y Romani, 2017). Además se han publicado estudios

en que mediante el análisis de componentes principales entre el área de superficie específica, D90, D10, D50, y el diámetro medio de Sauter, ejercieron un efecto en la textura y la apariencia del chocolate oscuro, lo cual es significativo para el desarrollo de nuevos productos y mejoras en los procesos (Afoakwa *et al.*, 2008).

En las empresas de chocolate de pequeña y mediana escala lo que más se utiliza para medir el tamaño de partícula es el micrómetro digital, a fin de controlar la calidad del lote o lotes de producción al final del proceso de refinado. Se utiliza este equipo por su practicidad y sencillez, y lo que determina es el tamaño de partícula más grande o gruesa (Beckett, 2008).

El principio del micrómetro es amplificar pequeñas distancias en grandes rotaciones del tornillo que son lo suficientemente grandes para leer desde una escala. El tornillo del micrómetro está integrado con el husillo de medición, cuya cara establece el contacto de medición con el objeto. La distancia de esa cara de contacto con respecto a un dato fijo constituye la longitud de medición, que luego se muestra mediante las graduaciones de escala del micrómetro (Lanz y Molina, 1820, citados por Tan y Balasubramanian, 2017). A diferencia de la medición de los diámetros de las partículas en función de sus áreas o volúmenes bidimensionales, el micrómetro mide el grosor y las agrupaciones de las partículas (Tan y Balasubramanian, 2017).

Aunque, hasta ahora, se ha referido a la partícula más grande como determinante de la textura de un chocolate, muy pocas partículas son tan grandes como esta. La situación real es una curva, conocida como distribución de tamaño de partícula (DTP) y el fabricante de chocolate tiene que tomar un resumen de esta información para ayudar con el procesamiento y el control de calidad. La DTP puede tomarse de dos maneras: por tamaño y por peso, lo normal con este último es determinar una estimación del volumen de partículas sólidas y asumir una densidad constante. Es preciso registrar el percentil 90 (D90), es decir, el tamaño al que el 90 por ciento de la masa o volumen de partículas sólidas se debe a partículas con un diámetro menor que este tamaño. Esto al parecer correlaciona bastante bien lo que las personas realmente prueban con las mediciones hechas de las partículas más grandes utilizando un micrómetro (Beckett, 2008).

Beckett (2000), Mongia y Ziegler (2000), citados por Ashkezary *et al.* (2018), mencionan que el D90 afecta a la sensación de arenosidad, si se tratara de partículas grandes, y a las

propiedades de flujo, si se tratara de partículas muy pequeñas. Por otro lado, Seville y Yu-Wu (2016), mencionan que existen una gran cantidad de métodos disponibles para medir la DTP, la mayoría de las técnicas analíticas actualmente disponibles para la medición del tamaño de partículas se pueden clasificar en seis métodos principales (Figura 5), de las cuales, para el chocolate es más común utilizar métodos de difracción láser, análisis de imagen por microscopía electrónica de barrido (Glicerina *et al.*, 2014; Bolenz, Manske y Langer, 2014; Luo *et al.*, 2013), los cuales resultan caros e inaccesibles para los fabricantes de pequeña y mediana escala productiva. Estudios recientes buscaron comparar dichos métodos con tres métodos propuestos: por micrómetro digital, grindómetro Hegman y análisis de imagen por microscopía de luz, las mediciones se realizaron a las 0,5, 2, 4 y 24 horas de refinado, encontrándose que a excepción del tiempo de 0,5 h, los valores de las mediciones realizadas por el método de análisis de imagen por microscopía de luz fueron mucho mayores que los demás métodos; asimismo, tanto el método del micrómetro y el de análisis de imagen por microscopía de luz pueden ser utilizados para monitorear la distribución y tamaño de partículas durante el refinado/conchado de chocolate (Tan y Balasubramanian, 2017).

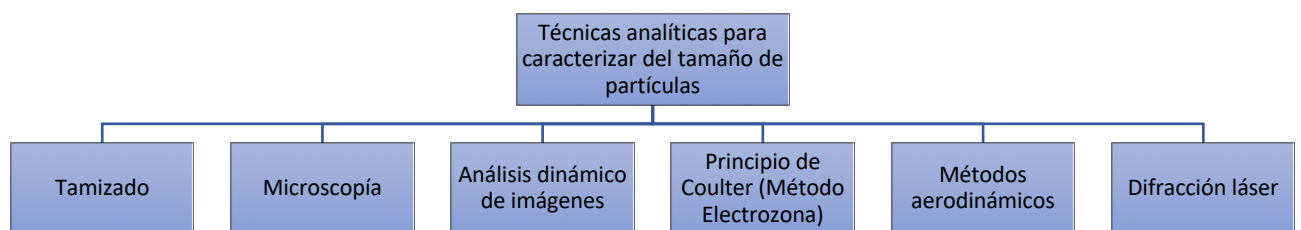


Figura 5: Seis métodos principales para la determinación de la distribución del tamaño de partículas en alimentos

FUENTE: Seville y Yu-Wu (2016)

El analizador de forma y tamaño de partícula usa el análisis dinámico de imagen. La muestra a ser analizada, capaz de ser dispersada en un amplio rango de concentración, es suspendida en un recipiente de muestra, el equipo es capaz de medir de 3 a 300 μm de diámetro con una configuración estándar. La muestra es luego recirculada y las siluetas de las imágenes son capturadas y analizadas. Difiere de muchos sistemas basados en microscopía, pues enfatiza velocidad y estadística segura, lo que determina es distribución de tamaño de partícula (DTP) (Vision Analytical Inc., 2017).

Las partículas fluyen a través de una celda, y una fuente de iluminación en un lado de la celda de flujo hace que la luz brille a través de la celda hacia una lente y una cámara digital en el otro lado. La cámara graba siluetas oscuras de las partículas y envía las imágenes a la computadora PC en formato de escala de grises. El software caracteriza cada partícula en función del tamaño y la forma de las sombras de las partículas utilizando un modelo de forma preseleccionado que es apropiado para el tipo de partículas que se analizan (Vision Analytical Inc., 2017). El principio básico de análisis dinámico de imagen puede observarse en la Figura 6.

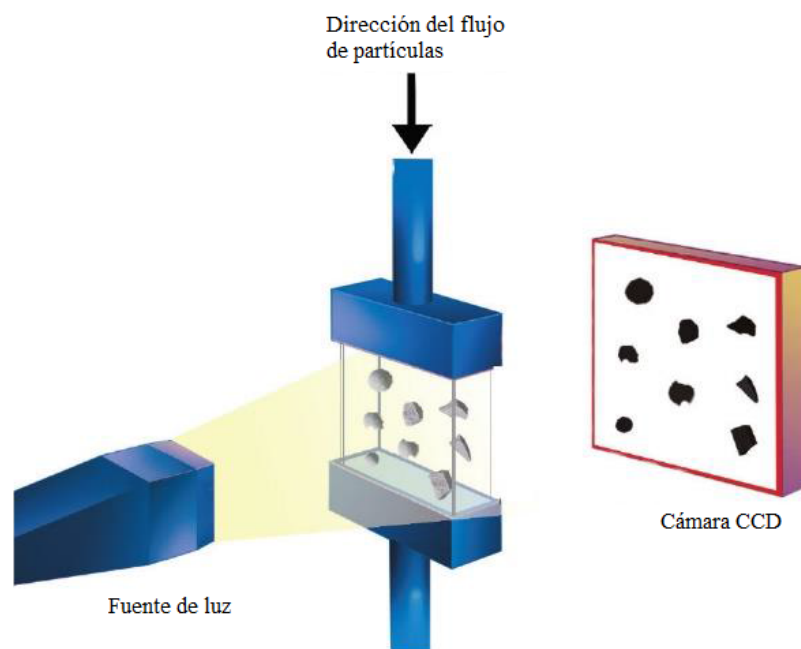


Figura 6: Principio de operación del equipo analizador de partículas por análisis dinámico de imágenes

FUENTE: Vision Analytical Inc. (2017)

c. Relación entre el tamaño de partícula y las propiedades reológicas

Beckett (2008) menciona que cuando el tamaño de partícula es menor, existe una mayor área superficial, por lo que más grasa será empleada para cubrir las superficies y quedará menor grasa libre (que no está cubriendo las partículas sólidas) encargada de permitir la fluencia entre las partículas, disminuyendo la capacidad de fluencia del sistema y haciendo la muestra más viscosa. Asimismo, mostró el aumento pronunciado que se produce en el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson cuando el tamaño de partícula disminuye (Figura 7). A medida que el número de partículas aumenta, existe un mayor contacto entre ellas, creando una mejor interacción que debe ser rota para poder permitir la fluencia del material y por eso el

valor del esfuerzo de fluencia se incrementa. Una vez que el sistema está en movimiento, las partículas pequeñas pueden fluir, por lo que solo hay una pequeña reducción en la viscosidad plástica que se debe a que existirá una menor cantidad de grasa libre.

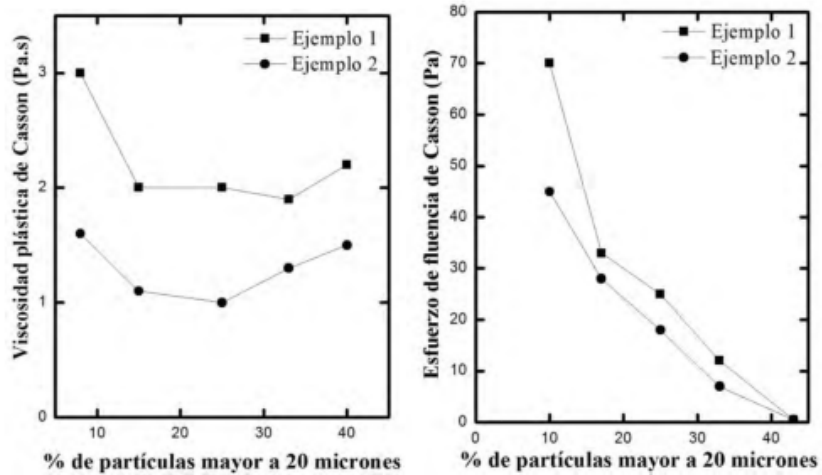


Figura 7: Influencia del tamaño de partícula en la viscosidad plástica y el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson

FUENTE: Beckett (2008)

Ello también lo corrobora Chevalley (1999), quien menciona que a medida que la DTP se hace más amplia en la dirección de partículas más pequeñas, existirá un aumento en esfuerzo de fluencia de Casson, debido al aumento en el área superficial y, por lo tanto, el número de enlaces o el contacto por fricción entre las partículas son más altas. Afoakwa *et al.* (2008) reportó un decremento consistente en la viscosidad aparente relacionado al aumento del tamaño de partículas, tendencia notada en todos los contenidos de grasa (Figura 7). Los autores explicaron que como el tamaño de partículas aumenta, la habilidad para empaquetarse de los sólidos se ve restringida llevando a pocas interacciones entre partícula-partícula, por tanto, disminuye la viscosidad.

Por otro lado, Rohm *et al.* (2018) menciona que la reología del chocolate se determina por varios factores, la cantidad de partículas suspendidas en un determinado volumen juegan un rol importante. Sumado a esto, la DTP, la forma y superficie de la partícula, pero también la cantidad y tipo de compuestos tenso activos que usualmente se añaden como emulsificantes en el proceso de elaboración de chocolate, como la lecitina de soya o el polirricinoleato de poliglicerol (PGPR).

2.4.3. PROPIEDADES SENSORIALES

Debido a que el chocolate y sus derivados son consumidos primordialmente por sus propiedades sensoriales más que por sus características nutricionales, es que deben tomarse en consideración para el estudio, desarrollo y optimización de procesos y productos de chocolatería (Toker *et al.*,2019).

Harwood y Hayes (2017), mencionan que en la evaluación sensorial de productos de chocolate, la evaluación del flavour o sabor, puede ser la primera opción. El sabor no abarca lo mismo que el gusto o “taste” (dulce, agrio, salado, amargo y umami), sino que implica la percepción integrada del gusto, olfato y somatosensación oral. En cuanto a este último, para productos de chocolate interesan la astringencia y frescura; sin embargo, también deben considerarse la apariencia visual y el sonido al quebrar el chocolate (*snap*).

Para la evaluación sensorial de chocolate existen numerosas pruebas, dependerá del fin de la investigación la elección de la mejor prueba. Entre dichas pruebas figuran: pruebas de umbral, pruebas discriminativas, pruebas afectivas, análisis descriptivos, análisis de intensidad de tiempo. En cuanto a métodos que han sido llevado a cabo exitosamente en chocolate son: prueba del triángulo, prueba de tétrada, prueba dúo-trío, comparaciones pareadas, prueba de diferencias comparado a un control (Harwood y Hayes, 2017).

Las pruebas discriminativas son ejecutadas para determinar tanto diferencia como similitud entre dos muestras. Este tipo de pruebas también puede ser direccionada, es decir, al juez se le puede solicitar diferenciar muestras basándose en un atributo en específico. Entre estas se encuentran (Harwood y Hayes, 2017):

- Comparaciones pareadas direccionadas (“¿Cuál de las dos muestras es la más dulce?”)
- Elección forzada de múltiples alternativas (“De todas estas muestras, por favor, identifique cuál es la más dulce”)

Dentro del análisis descriptivo tradicional se encuentran: análisis descriptivo cuantitativo (QDA=Quantitative Descriptive Analysis), análisis de espectro descriptivo, perfil de sabor y método del perfil de textura, los cuales difieren entre sí en cuanto los procedimientos de entrenamiento al panel, escalas de intensidad, entre otros. El QDA ha sido muy utilizado para chocolates, pues permite la construcción de un perfil sensorial utilizando palabras que

usualmente se asocian a definiciones precisas y estándares representativos (Harwood y Hayes, 2017). Al realizar un análisis QDA, el jurado debe estar conformado por no menos de 6 jueces entrenados. Cabe resaltar que es un método de amplia difusión y de mayor utilización debido a que no necesita un entrenamiento tan exhaustivo como en las técnicas que preceden al QDA, se consideran suficientes 20 horas para los jueces seleccionados (Ureña, D'Arrigo y Girón, 1999).

Seguine y Sukha (2015), propusieron un glosario de descriptores de sabor en que la evaluación sensorial basada en un análisis cuantitativo descriptivo para licor de cacao y chocolate estaría basada en descriptores como: cacao, ácido, amargo, astringente, frutal, floral, nuez, dulce. La calificación en cuanto a la intensidad del atributo se califica en una escala de 0 a 10, en donde 0 significa “ausente en la muestra”, 1-2 significa “bajo, presente en la muestra”, 3-5 significa “medio, claramente presente en la muestra”, 6-8 significa “alto, dominante en la muestra” y 9-10 significa “muy alto, enmascara otros sabores”.

El chocolate tiene un sabor específico dependiendo del genotipo y las etapas del proceso como: tostado, fermentación y conchado el cual es el último y más importante en cuanto a la contribución del desarrollo del sabor (Fatma y Ali, 2017). Entonces, es el conchado es uno de los principales responsables para la obtención de productos con propiedades sensoriales deseables. Los fabricantes suelen utilizar diferentes tiempos y temperaturas de conchado pues dependerá de la variedad y origen del grano de cacao. En esta etapa los elementos responsables de sabor a moho, madera, y aroma frutal son reducidos (Oswusu *et al.*, 2013; citados por Toker *et al.*, 2019). En el conchado se eliminan ácidos volátiles, aromas volátiles indeseables y algunos deseables (ADM cocoa, 2009). También es conocido que el conchado por largos periodos reduce los niveles de aroma (Owusu, Petersen y Heimdal, 2012; Fischer, Abubaker, Hässelbarth y Ullrich, 2010), por ello reducir el tiempo de conchado tiene el potencial de mejorar las propiedades sensoriales del chocolate e incrementar la aceptabilidad de los consumidores (Toker *et al.*, 2019).

Durante el proceso completo de producción de chocolate se forman precursores de sabor que corresponden a determinados compuestos químicos los cuales varían de acuerdo con el clima y el genotipo de cacao. Según Aprotosoae *et al.* (2016), dichos compuestos químicos son:

- Alcaloides (teobromina, cafeína) que contribuyen con el sabor amargo;

- Polifenoles (catequinas, antocianinas y proantocianidinas) que son los responsables del sabor astringente, frutal y herbal;
- Proteínas (albúmina y globulina) y,
- Carbohidratos (azúcares como fructosa, glucosa, galactosa; polisacáridos como celulosa, pentosas).

Se han reportado diversos compuestos volátiles presentes en fracciones volátiles de muestras de cacao según Machado *et al.*(2018), según el grupo funcional y el atributo sensorial que lo caracteriza en granos de cacao de Huila, Colombia (Tabla 3).

Tabla 3: Compuestos volátiles presentes en fracciones aromáticas de muestras de cacao

Grupo funcional	Compuesto	Atributo
Aldehídos y cetonas	Benzaldehído	Nueces
	Fenilacetaldehído	Nueces
	Acetofenona	Mantequilla
Alcoholes	2,3- Butanediol	Floral
	Fenetilalcohol	Frutal
Ésteres	Etilbenzoato	Floral
	2-fenilacetato	Floral
Ácidos	Ácido acético	Astringente
Pirazinas	2,5-dimetilpirazina	Cacao
	2,3,5- trimetilpirazina	Cacao
	Tetrametilpirazina	Cacao
Terpenos	Linalool	Floral
	Óxido linalool	Floral
Pirroles	Acetilpirrol	Cacao

FUENTE: Tomado de Machado *et al.* (2018)

Posteriormente, Michel (2019) realizó una investigación que tuvo como objetivo identificar los compuestos químicos que son los responsables del sabor y aroma de chocolates elaborados con cacao fino de sabor y aroma del norte del Perú (cacao blanco de Piura), asimismo, de analizar el desarrollo de estos compuestos durante cada una de las etapas críticas de la manufactura del chocolate. Este chocolate oscuro fino ha sido caracterizado por ser aromático suave, floral, frutal, a nueces y almendras (en cacao tostado o licor de chocolate y en barra de chocolate), mediante la técnica de separación de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). En la Tabla 4, se observan los

compuestos marcadores diferenciadores del chocolate oscuro de cacao blanco de Piura de la fábrica de chocolates de Cacaosuyo (THEOBROMA INVERSIONES S.A.C).

Tabla 4: Once marcadores diferenciadores de chocolate fino de aroma y sabor de origen Piura

Número de compuesto	Masa molecular (g/mol)	Compuesto marcador	Tiempo de retención (min)	Atributo sensorial
Compuesto 1	104	C ₄ H ₈ O ₃	22,081	No hay información
Compuesto 2	116	C ₆ H ₁₂ O ₂	20,591	Dulce etéreo, afrutado
Compuesto 3	116	C ₆ H ₁₂ O ₂	20,824	Dulce etéreo, afrutado
Compuesto 4	122	C ₈ H ₁₀ O	23,370	Dulce, fresco
Compuesto 5	134	C ₆ H ₆ N ₄	18,916	No hay información
Compuesto 6	136	Tetrametilpirazina	16,612	Cacao tostado, nuez, café
Compuesto 7	146	C ₇ H ₁₄ O ₃	17,347	Mantecoso, caramelizado
Compuesto 8	160	C ₈ H ₁₆ O ₃	19,310	Dulce, afrutado
Compuesto 9	164	Acetato de 2-feniletilo	24,579	Dulce, floral
Compuesto 10	170	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	22,516	Dulce, miel
Compuesto 11	174	3,4-dihidroxi-3,4-dimetil-2,5-hexanodiona	23,267	No hay información

FUENTE: Tomado de Michel (2019)

2.5. OPTIMIZACIÓN POR MÉTODO VNSC

Es una técnica de análisis estadístico propuesta por Herrera (2005) basada en la aplicación de un Diseño Completamente al Azar (DCA) al estudio de un factor dependiente del tiempo. El método de VNSC es un DCA aplicado al tiempo como variable independiente, que permite evaluar el comportamiento de una variable dependiente “x” a fin de implementar procesos eficientes (Herrera, 2005).

Se genera un diseño experimental de tal manera que cada tiempo representa un tratamiento (considerando repeticiones); posteriormente, los datos obtenidos de un caso “x”, se analizan mediante un Análisis de Varianza; de existir diferencia significativa entre los tratamientos se procede a un análisis de comparación múltiple, ej. LSD («Least significant difference»).

Para la generación y análisis del diseño estadístico pueden emplearse programas como: Statgraphics, SPSS, Statistix, entre otros. Cabe mencionar que el método se caracteriza por ser aplicable a modelos que se vuelven asintóticos en el tiempo, además sólo es posible analizar una única variable respuesta (Herrera, 2005). Entonces, bajo dicho fundamento, este

método puede aplicarse en procesos de extracción, crecimiento microbiano, actividad enzimática, producción de metabolitos, procesos de maduración, estudios de vida útil, entre otros; además, una vez interpretados los resultados, permite tomar decisiones para hacer procesos más eficientes (Jordan, 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se realizó en las siguientes instalaciones:

- Planta procesamiento de chocolates de la empresa THEOBROMA INVERSIONES S.A.C. (Lima, Perú).
- Laboratorio de Análisis Físicoquímico de Alimentos, Laboratorio de Ingeniería de Alimentos, Laboratorio de Evaluación Sensorial de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú).

3.2. MATERIA PRIMA Y MAQUINARIA INDUSTRIAL

Se utilizaron nibs de cacao nativo de Piura de THEOBROMA INVERSIONES S.A.C, manteca de cacao desodorizada de Machu Picchu Foods S.A.C, azúcar refinada blanca de STYWI S.A.C.

Dichos insumos se procesaron en las instalaciones de THEOBROMA INVERSIONES S.A.C. hasta obtener el chocolate en masa tipo cobertura al 60 por ciento de cacao con diferentes tiempos de refinado/conchado tomados en intervalos de dos horas durante el proceso completo (20h) realizado completamente en la máquina UNIVERSAL mezcladora/refinadora/conchadora Loynds® de la empresa (Figura 8).

Cabe mencionar que la máquina fue llenada al 70 por ciento de su capacidad (500 kg) y operada con ciertos controles que se manipularon por el Jefe de Producción, estos fueron: temperatura de chaqueta, grado de presión de palas rotativas. En el caso de la velocidad de la ventilación y la velocidad de giro del eje de palas no se pueden manipular, por lo que fueron constantes en todo el proceso. A través del panel de control del equipo se visualizó el consumo de amperaje (Figura 9). La descripción gráfica del equipo y sus partes se observa en la Figura 10.



Figura 8: Máquina Refinadora-conchadora de chocolate UNIVERSAL de 500 kg/batch



Figura 9: Tablero de control de la máquina UNIVERSAL de 500 kg/batch

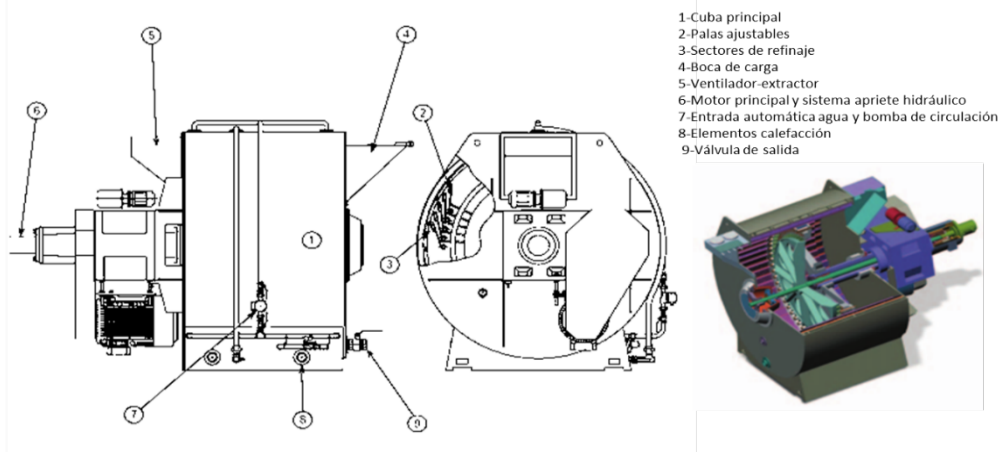


Figura 10: Esquema de un molino de paletas para el refinado/conchado de chocolate

FUENTE: Lloveras (2014)

El equipo se basa en la acción de unas palas rotativas que ejercen presión contra la pared interior de la cuba de trabajo. Esta cuba incluye unas secciones estriadas contra las cuales las palas van mezclando y refinando el producto hasta el nivel deseado. El movimiento de las palas se consigue a través de un estudiado diseño del reductor el cual permite la máxima transferencia de energía con un mínimo consumo. El grado de presión de éstas palas contra las secciones estriadas se efectúa mediante un grupo hidráulico controlado y regulado electrónicamente. El equipo incluye un doble fondo para calefacción o refrigeración con sus correspondientes resistencias eléctricas, entrada automática y controlada de agua fría y bomba de agua para un reparto regular de las temperaturas de trabajo (Lloveras, 2014).

Finalizado el procesamiento de refinado/conchado de chocolate en masa, se terminó de coleccionar las muestras, que fueron envasadas en frascos de vidrio herméticos de 300 ml, rotulados y almacenados a una temperatura de 16-20 °C con una humedad relativa menor al 70 por ciento para su posterior evaluación. Se recolectaron tres frascos por tratamiento.

Este chocolate tipo cobertura, dentro de su composición presenta pasta de cacao blanco de Piura, azúcar blanca y manteca desodorizada de cacao (Tabla 5).

Tabla 5: Formulación de cobertura de chocolate al 60 por ciento de cacao

Insumos	Porcentaje en la formulación (%)
Pasta o licor de cacao	51
Manteca de cacao	10
Azúcar refinada blanca	39
Total	100

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS (NIVEL LABORATORIO)

3.3.1. MATERIALES

- Material de vidrio en general: baguetas, placas Petri, probeta, vasos de precipitado, termómetro
- Cuchillo, cuchara de acero
- Tubos Falcon de 50 ml

- Moldes de plástico cuadrados de 3 cm por lado x 0,4 cm de altura, usado para la evaluación sensorial.

3.3.2. EQUIPOS

- Agitador de paletas COLE-PARMER, modelo 50006-03
- Balanza analítica OHAUS®
- Balanza de precisión AND, modelo GX-6100
- Cocina eléctrica ILLCO®
- Derretidor de chocolate
- Analizador de tamaño y forma de partículas, PARTICLE INSIGHT®
- Estufa MEMMERT® , modelo SN 30
- Horno microondas LG®
- Micrómetro digital MITUTOYO®
- Reómetro Brookfield DV-3T®
- Vórtex (Velp Scientífica, Wizard, Italia)

3.3.3. REACTIVOS

- Isopropanol (2, propanol) J.T Baker
- Aceite de girasol
- Agua destilada ultrapura

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. ANÁLISIS PROXIMAL

Se evaluó por análisis proximal los nibs de cacao (AOAC, 2016). Humedad (931.04), proteína cruda (970.22), grasa cruda (920.75), ceniza (972.15), fibra cruda (930.20a y 962.09e), carbohidratos totales por diferencia del total de los otros componentes del proximal (Álvarez *et al.* 2007). Se evaluó por análisis proximal a las muestras de chocolate (INACAL 2017; AOAC 2016): Humedad (NTP 208.017), proteína cruda (970.22), grasa cruda (NTP 208.016), ceniza (NTP 208.015), fibra cruda (NTP 208.029) y carbohidratos totales (Álvarez *et al.* 2007), donde los carbohidratos totales (CHOs) se calculan así:

$$\text{CHOs Totales} = 100 - (\text{Humedad} + \text{Cenizas} + \text{Proteínas} + \text{Grasa}) \quad (1)$$

3.4.2. TAMAÑO DE PARTÍCULA (MÉTODO DEL MICRÓMETRO)

El tamaño de partícula se determinó por el método del micrómetro que solo detecta partículas grandes (Beckett, 2008). Se limpiaron las superficies planas de las mandíbulas del micrómetro y se ajustaron a cero, se mezcló en un recipiente 50 partes de aceite de girasol con 50 partes de chocolate fundido, se colocó una gota de la emulsión en una de las mandíbulas del micrómetro, se enroscaron las mandíbulas hasta que fácilmente se midieron las partículas del producto y se tomó la lectura en micras, se abrieron las mandíbulas y se limpiaron para la siguiente medición. Se evaluó tres lotes por tratamiento, con tres repeticiones. Se trabajó con un micrómetro digital marca Mitutoyo® IP 65 (0 -25 mm; 0,001 mm).

3.4.3. TAMAÑO DE PARTÍCULA (MÉTODO DE ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN- D90)

Se siguió la metodología aplicada por Tan y Balasubramanian (2017) con modificaciones en la que se determinó la distribución de tamaño de partícula de todas las muestras de chocolate. Se utilizó el analizador de distribución y tamaño partículas “Particle Insight”. Se utilizó 0,5 g de muestra molida de chocolate, se derritió en baño maría a 40°C, luego se dispersó con 150 mL de isopropanol en tubos de Falcon, seguido de ellos se homogenizó con ayuda de un vórtex durante dos minutos por 2500 RPM. Luego la muestra diluida se introdujo en un vaso precipitado con agitador de paletas a una velocidad de giro de 150 RPM. Mientras se agitaba la muestra se realizaron las mediciones con el equipo. Se evaluaron tres lotes por tratamiento, con tres repeticiones. El tamaño de partícula se reportó en valores de percentil 90 (D90) de las muestras.

3.4.4. VISCOSIDAD Y ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA SEGÚN MODELO DE CASSON

Para la determinación de las propiedades reológicas del chocolate refinado/conchado a diferentes tiempos de proceso, se siguió la metodología utilizada por Chire y Hartel (2011) con algunas modificaciones. Para determinar los parámetros reológicos (viscosidad plástica

y esfuerzo mínimo de fluencia) en la pasta de chocolate se utilizó la ecuación de Casson modificada por NCA/CMA, utilizando el Reómetro digital Marca Brookfield DV-3T, de cilindros concéntricos con husillo SC4-27, y programa Rheocalc T 1.2.19 (Brookfield Engineering Labs Inc.). La masa de chocolate fue derretida, a 60°C durante una hora en estufa, se cuidó la muestra de no ser tomada de la superficie del recipiente, ya que algunas separaciones de grasa pudieron darse. Se realizó la calibración del reómetro con torque igual a cero. Se colocó la pasta de chocolate en un volumen de 10 mL (12,5 g aproximadamente) en la tasa del reómetro junto con el husillo. La medición de los parámetros reológicos del chocolate fue realizada a 40°C. Se realizó un pre-cizallamiento a 6,8 s⁻¹ por 20 segundos (no considerado en la data ni gráficas) a fin de alcanzar el equilibrio térmico. Posterior a ello, la muestra fue sometida a diferentes velocidades de corte, de 0,170 a 6,8 s⁻¹, ascendentemente y luego descendentemente. Se evaluaron tres lotes por tratamiento, con tres repeticiones. Los datos fueron procesados en el software del reómetro (Rheocalc) y se ajustó al modelo de Casson modificado NCA/CMA, mostrado en la ecuación (2), también conocida como Ecuación de Casson modificada por Steiner (Ametek Brookfield, 2017):

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

Donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa), γ = Tasa de corte o de cizalla ($\frac{1}{s}$), η_{CA} = Viscosidad plástica de Casson (Pa.s), τ_{CA} = Esfuerzo mínimo de fluencia de Casson (Pa), a = Relación de radios de husillo y cámara de muestra. Relación lineal entre $\sqrt{\tau}$ y $\sqrt{\gamma}$

3.4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL

Se realizó la evaluación sensorial al chocolate obtenido con tiempo convencional y al obtenido con el proceso optimizado, dicha evaluación fue conducida por siete jueces entrenados (tres hombres y cuatro mujeres), que fueron capacitados en el curso “Formación de catadores de cacao y chocolate” (UNALM, Lima), en tres módulos de 24 horas, con un total de 72 horas lectivas. Cada muestra fue evaluada tres veces por cada juez. El chocolate fue degustado en forma sólida a 20-22°C. Las pruebas sensoriales que se realizaron fueron: “prueba de comparación pareada simple” (Ureña *et al.*,1999), y “prueba de comparación pareada direccionada” que son de gran ayuda cuando hay que elegir entre dos muestras (Ureña *et al.*,1999; Saltos, 2010). Cada muestra representó uno de los dos tratamientos de

refinado-conchado (el determinado versus el convencional). El propósito fue establecer si las muestras presentaban diferencia en cuanto a la sensación de arenosidad y conocer cuál era la de mayor agrado según Meilgaard, Civille y Carr (2007), quienes establecieron que las partículas granulosas (sensación de arenosidad) son aquellas que se quedan en los labios de la boca. Previo a cada prueba, se realizó una práctica y calibración por el objetivo del estudio, de una duración de una hora (en cuanto a arenosidad del chocolate). Luego, se le solicitó a cada juez entrenado llenar un formato con la elección del producto de su preferencia en cuanto a su arenosidad (Anexo 1).

Sumado a ello, se aplicó al panel entrenado, una “Prueba descriptiva cuantitativa (QDA)”;

por lo que se aplicó la hoja de cata (Anexo 2), extraído y modificado de Seguíne y Sukha (2015), en ella se incluyó una tabla para la caracterización de cada una de las muestras, para así establecer cuáles fueron las diferencias existentes entre ellas acerca de la intensidad de los descriptores de sabor (flavour): cacao, ácido, astringente, amargo, floral, frutal, nuez, dulce; y por ende conocer cuál fue el papel que jugó el tiempo de refinado-conchado sobre cada una de ellas, para el efecto fue utilizada una escala de intensidad de 10 puntos: 0 = Ausente; 1 = Muy débil; 2= Bajo, presente en la muestra; 3-5 = Medio, claramente presente en la muestra; 6-8: alto, dominante en la muestra; 9-10:muy alto, enmascara otros sabores. Los atributos de sabor y aroma evaluados fueron: cacao, ácido, astringente, amargo, floral, frutal, nuez, dulce. A cada panelista o juez entrenado se le presentó una muestra por cada tratamiento de chocolate de 5 g cada una de dimensiones 3 x 3 x 0,4 cm, fueron dos tratamientos y tres repeticiones cada uno. Para evitar fatiga, se dieron descansos entre cada evaluación por repetición, en total dos descansos de cinco minutos cada uno.

La evaluación sensorial se realizó en el Laboratorio de Análisis Sensorial de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, entre las 10:00 am y 1:00 pm.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El estudio de la investigación consideró desde la operación de Refinado-Conchado descrito en la Figura 11.

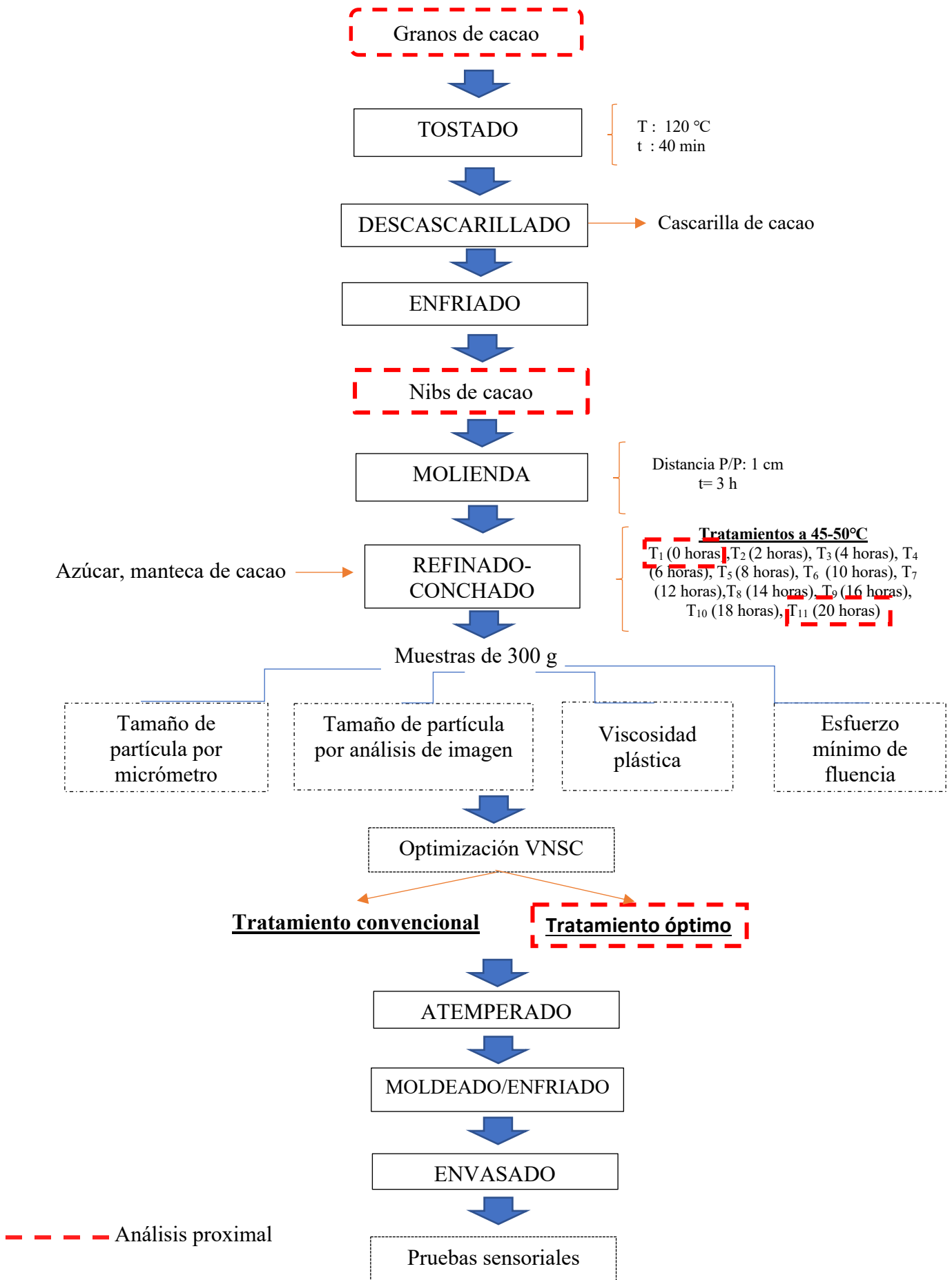


Figura 11: Flujo de operaciones de la metodología experimental

3.5.1. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GRANOS Y NIBS DE CACAO

En planta de producción se procesaron lotes de 100 kg de cacao, con tres repeticiones (Cacaosuyo, Lima, Perú), los mismos que pasaron por las etapas estándar de procesamiento industrial para la obtención de derivados del cacao, las que fueron: tostado (a 120 °C por 40 minutos), enfriado y descascarillado. Los nibs de cacao constituyeron parte principal de los ingredientes requeridos en la formulación de la cobertura de chocolate oscuro al 60 por ciento. Se realizó el análisis proximal de los granos y de los nibs de cacao de origen Piura (AOAC, 2016) (Laboratorio de Análisis fisicoquímico de Alimentos, UNALM, Lima, Perú).

3.5.2. OBTENCIÓN DE CHOCOLATE EN LA FÁBRICA DE PROCESO

El procedimiento experimental para la obtención del chocolate tuvo la siguiente secuencia de operaciones unitarias:

- a. Molienda: El insumo de entrada a esta operación fueron los nibs de cacao blanco de Piura. El equipo utilizado fue la mezcladora/refinadora/conchadora Universal Loynds (500kg/batch). Antes de comenzar esta etapa, el equipo pasó por un precalentamiento hasta llegar a una temperatura igual a 45°C. Cuando alcanzó dicha temperatura se procedió a ingresar los nibs de cacao por la tolva del equipo, procedimiento que se realiza progresivamente para evitar el atasco de las paletas del equipo (10kg/10 min). Al inicio de la alimentación del equipo, se procedió a graduar la presión de palas a nivel 1. Esta alimentación al equipo se realizó en 3 horas, aproximadamente. Adicionalmente, 0,5 horas más, con el fin de convertir los nibs de cacao en pasta fluida o licor de cacao.
- b. Refinado-Conchado: Esta etapa comenzó con la adición de los demás ingredientes que componen el chocolate: azúcar refinada blanca y manteca de cacao. Cabe resaltar que antes de añadir dichos ingredientes, se graduó la presión de palas a un nivel de 1,5. La alimentación del equipo se realizó en media hora, aproximadamente. A partir de este punto se comenzó a contabilizar el tiempo de refinado-conchado (tiempo cero). Se evaluaron diferentes tratamientos (tiempos de refinado-conchado), para ello se tomaron muestras de esta operación durante 20 horas, con intervalos de dos horas

para determinar el tiempo óptimo de refinado-conchado. Al producto final de esta operación se le evaluaron las propiedades físicas.

- c. Temperado, moldeado y enfriado: Se realizó manualmente. Se utilizó una mesa de granito para facilitar el enfriamiento. En esta etapa se formaron los cristales de grasa con la forma polimórfica adecuada. En el temperado, el chocolate fue derretido en el rango de 40-45°C, luego, sucesivamente, fue enfriado, calentado y enfriado. Una vez que el chocolate llegó a la temperatura final de 30-30,5°C, de consistencia viscosa, fue moldeado en piezas cuadradas de superficie plana y enfriados en una cava a 17-18 °C a una humedad relativa de 50-60 por ciento por 12 horas hasta su cristalización. Seguidamente, se desmoldaron los chocolates con dimensiones cuadradas de 3 cm de lado y 0,4 cm de altura y se almacenaron a 20 °C y humedad relativa de 60-65 por ciento para la posterior evaluación de sus propiedades sensoriales.
- d. Envasado: Se envasaron los chocolates en papel aluminio, para ser almacenados a 18-20°C y HR menor a 65 por ciento.

3.5.3. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE REFINADO/CONCHADO POR VNSC

A fin de seleccionar el tiempo de refinado/conchado más conveniente para la empresa, en cuanto al ahorro en gasto energético y otros recursos, se realizó la determinación del tiempo óptimo de proceso, según las propiedades físicas del chocolate, mediante el método de variación no significativa en cinética (VNSC). Los niveles/tratamientos fueron los tiempos de refinado/conchado (0,2,4,6,8,10,12,14,16,18 y 20 h), con tres repeticiones. Las variables respuestas fueron cuatro: tamaño de partícula (por los dos métodos), viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia Casson. En el trabajo se consideró tiempo óptimo al menor tiempo en que la variable dependiente no presentaba diferencias significativas con respecto a tiempos posteriores de operación. Como consecuencia de aplicar dicho tiempo óptimo de proceso, se generaría menor gasto energético proveniente del uso de la mezcladora/refinadora/conchadora. El VNSC se realizó con el programa estadístico Statgraphics®, con el que se obtuvieron los modelos ajustados de cada propiedad física en función a los tiempos de refinado/conchado.

3.5.4. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL CHOCOLATE OBTENIDO POR PROCESO OPTIMIZADO

Una vez determinado el tiempo óptimo por VNSC, y luego de haber realizado los pasos de 3.5.2 a,b,c,d, se realizaron las pruebas sensoriales (“prueba de comparación pareada simple”, “prueba de comparación pareada direccionada” y “prueba descriptiva cuantitativa (QDA)”), en las que se buscó determinar si un panel entrenado en cacao y chocolate (7 jueces) detectaba diferencias entre el óptimo hallado y el convencional, con respecto a la arenosidad (pareada direccionada) y ocho descriptores de sabor (QDA): cacao, ácido, astringente, amargo, floral, frutal, nuez y dulce.

3.5.5. VALIDACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DETERMINADO DE REFINADO/CONCHADO

Una vez determinado el tiempo óptimo, en la etapa previa, se extrajeron muestras del procesamiento de cobertura de chocolate oscuro con tres repeticiones a dicho tiempo óptimo de refinado/conchado (Fábrica de chocolates, Cacaosuyo, Lima, Perú) y posteriormente se le analizaron las propiedades físicas, con el fin de comparar los valores estimados por el modelo y los valores reales resultantes. Se determinó el porcentaje de validación (3) donde el valor esperado es el valor estimado y el valor experimental es el valor observado. Cabe mencionar que la ecuación en mención, ya ha sido aplicada en alimentos (García, 2018; Chire, 2019).

$$\text{Porcentaje de validación} = \left(1 - \left| \frac{\text{Valor esperado} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor esperado}} \right| \right) \times 100 \quad (3)$$

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Como se muestra en la Tabla 6, se realizó una caracterización físico-química de la materia prima principal (granos y nibs de cacao) en base a su composición proximal. Para la determinación del tiempo óptimo de refinado/conchado de la pasta de chocolate se aplicó el método de VNSC, para lo cual se tabularon los datos de las propiedades físicas obtenidos de tiempo de refinado/conchado, las cuales fueron: tamaño de partícula (por los dos métodos), viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia según el modelo Casson. Se obtuvo como resultado el tiempo óptimo del proceso cinético en cuanto al menor tiempo de proceso y

otros recursos empleados al no continuarse por exceso el referido proceso. Posteriormente, la siguientes etapas por la que pasó la pasta de chocolate fueron: el temperado, moldeado, enfriado y envasado del chocolate para proceder con las pruebas sensoriales (“prueba de comparación pareada simple”, “prueba de comparación pareada direccionada” y “prueba descriptiva cuantitativa (QDA)”), en las que se buscó determinar si un panel entrenado en cacao y chocolate detectaba diferencias entre el óptimo hallado y el convencional, con respecto a la arenosidad (diferencia pareada) y ocho descriptores de sabor (QDA). Una vez realizada esta prueba sensorial, se caracterizó mediante análisis proximal al chocolate elaborado con el tratamiento seleccionado.

Tabla 6: Esquema experimental para la determinación del tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate

PROCESO DE ELABORACIÓN DE COBERTURA DE CHOCOLATE AL 60 POR CIENTO DE CACAO				
	Mezclado	Refinado-Conchado	Templado y moldeado	Almacenamiento
PROCESOS	<ul style="list-style-type: none"> • Nibs de cacao origen Piura • Azúcar • Manteca desodorizada de cacao 		<p>Refinado-conchado óptimo vs Refinado-conchado convencional</p>	<p>Solución óptima</p>
CONTROLES	<p><u>Análisis de Control</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Humedad, proteínas, grasa cruda, cenizas, fibra cruda, carbohidratos 	<p><u>Análisis de Decisión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físicas: Tamaño de partícula (micrómetro y análisis dinámico de imagen(D₉₀)), viscosidad, esfuerzo mínimo de fluencia por VNSC 	<p><u>Análisis de Decisión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Pruebas sensoriales (Pareada simple, pareada direccionada, QDA (8 descriptores): cacao, ácido, astringente, amargo, floral, frutal, nuez, dulce. 	<p><u>Análisis de Control</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Humedad, proteínas, grasa cruda, cenizas, fibra cruda, carbohidratos • Tamaño de partícula: micrómetro y análisis dinámico de imagen(D₉₀), viscosidad plástica, esfuerzo mínimo de fluencia

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico STATGRAPHICS ® CENTURION XVII. Se utilizó un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Para la caracterización de los granos y nibs de cacao (análisis proximal), se realizó un compósito de las tres repeticiones de cada lote de producción (1, 2 y 3), los resultados se expresaron como el promedio y su desviación estándar. En la determinación de las propiedades físicas a través del tiempo de refinado/conchado de chocolate se empleó la metodología estadística propuesta por Herrera (2006):

A. Análisis de Varianza (ANVA) usando el Diseño Completamente al Azar (DCA): Se utilizó la data de cada lote por separado, para determinar si existen o no diferencias significativas, en cuanto a las propiedades físicas: tamaño de partícula (por los dos métodos), viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia de Casson, de las muestras a diferentes tiempos de refinado/conchado, replicándose tres veces el diseño (para cada lote de producción) y aplicando ANVA ($p \leq 0,05$).

B. Prueba de comparación de muestras LSD (Mínima diferencia significativa de Fisher): Una vez demostrado que existieron diferencias significativas en el ANVA anterior, se utilizó esta prueba para determinar qué medias de los tratamientos fueron significativamente diferentes de otras.

Los resultados reportados de los análisis de las propiedades físicas del chocolate durante el proceso de refinado/conchado, se expresaron como el promedio y su desviación estándar. Posterior al DCA, se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con un valor $p \leq 0,05$ donde cada lote de producción (1, 2 y 3) representó un bloque, el factor de estudio fue el tiempo de refinado-conchado con once niveles y las variables de respuesta fueron: Tamaño de partícula (por los dos métodos), viscosidad plástica y esfuerzo mínimo de fluencia de Casson. Los datos se sometieron a la prueba de LSD para la comparación. Con este análisis se pudo generalizar el tiempo óptimo de los tres lotes, que se encontró en el rango de los tiempos óptimos determinados para cada lote por separado. Para determinar las ecuaciones de regresión se utilizó el paquete de Statgraphics (Relación de un factor: lineal ó polinomial, según el mejor R cuadrado).

En la siguiente etapa de la investigación, se procedió a analizar los resultados de las pruebas sensoriales: “prueba de comparación pareada simple”, “prueba de comparación pareada direccional” para lo cual se aplicó la tabla estadística en la que se indica el número mínimo de juicios correctos para establecer significancia a varios niveles de probabilidad para pruebas de diferencia pareada (Anexo 3) (Liria, 2008; Ureña *et al.* 1999). En el caso de los resultados de la “prueba descriptiva cuantitativa (QDA)” del chocolate con tratamiento convencional y con tratamiento optimizado se sometieron al análisis de varianza ANOVA, seguido de la prueba de LSD para la comparación; asimismo, se utilizaron los datos para graficar diagramas de red de araña a fin de identificar los atributos que se identifican en las muestras (perfil sensorial).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL

A continuación, se presentan los valores obtenidos por el análisis proximal de granos y nibs de cacao blanco de Piura (Tabla 7, Anexo 4, Anexo 5).

Tabla 7: Composición proximal de granos y nibs de cacao blanco de Piura

COMPOSICIÓN (%)	Granos de cacao	Nibs de cacao
Humedad*	5,22 ± 0,01 ^b	3,37 ± 0,01 ^a
Proteína cruda	13,44 ± 0,06 ^a	13,22 ± 0,06 ^a
Grasa cruda	55,56 ± 0,10 ^a	59,02 ± 0,10 ^b
Fibra cruda	-	17,97 ± 0,27
Ceniza	3,29 ± 0,01 ^a	3,65 ± 0,11 ^a
Carbohidratos totales	27,71 ± 0,17 ^b	24,11 ± 0,07 ^a

Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones de un compósito de granos y nibs de cacao para los tres lotes de chocolate. (*) Los resultados de humedad se reportaron en base húmeda a diferencias de los demás componentes (base seca).

La composición química de los granos de cacao se muestra a detalle en la Tabla 7, y se puede observar que la grasa cruda representa el componente principal (55,56 ± 0,10 por ciento), seguido del contenido de carbohidratos totales (27,71 ± 0,17 por ciento), proteína cruda (13,44 ± 0,06 por ciento), humedad (5,22 ± 0,01 por ciento), y en último lugar se encontraron las cenizas (3,29 ± 0,01 por ciento).

La composición química de los nibs de cacao blanco de Piura también se muestran en la Tabla 7. De igual manera que con el cacao sin tostar, en el cacao tostado la grasa cruda representa el componente principal (59,02 ± 0,10 por ciento), seguido del contenido de carbohidratos totales (24,11 ± 0,07 por ciento), proteínas (13,22 ± 0,06 por ciento), fibra cruda (17,97 ± 0,27 por ciento) y en último lugar se encontraron las cenizas (3,65 ± 0,11 por ciento) y humedad (3,37 ± 0,01 por ciento).

Al comparar los resultados del análisis proximal de los nibs (trozos de cacao tostado) con respecto a los granos de cacao crudos, se pudo evidenciar que el porcentaje de humedad fue significativamente menor en los nibs de cacao ($p \leq 0,05$), debido a la evaporación del agua con el proceso de tostado lo cual coincide con Agus, Nadzirah y Hussain (2018), quienes mostraron que el contenido de humedad de los granos de cacao sin tostar se redujo de 5,72 a 2,44 por ciento después del proceso de tostado. Sin embargo, para los nibs del mismo cacao el contenido de grasa cruda fue de 59,02 por ciento debido a que el producto ha sido sometido al tratamiento térmico del tostado (120 °C por 40 minutos) y por tanto las células lipídicas están más expuestas que, para el caso de cacao sin tostar, similares resultados se obtuvieron de incremento de contenido graso en el estudio de Chire (2019) quien reportó contenido de grasa cruda para el cacao CCN 51 (43,59 por ciento), para el cacao ICS 6 (45,80 por ciento) y para sus pastas de cacao un contenido de grasa cruda de 50,43 y 53,01 por ciento, respectivamente. Finalmente, el porcentaje de cenizas en granos y en nibs de cacao no variaron significativamente.

Oracz y Nebesny (2018), reportaron resultados de análisis proximal de granos de cacao criollo (Madagascar) tostado a 120°C (misma temperatura con respecto al presente trabajo), y reportaron 58,44 por ciento de grasa cruda, y 14,53 por ciento de proteínas. Djikeng *et al.* (2018), realizó el análisis proximal de granos de cacao trinitario (Camerún) también tostado en condiciones similares a las de la presente investigación, encontró un $4,0 \pm 0,0$ por ciento de humedad, $7,7 \pm 0,2$ por ciento de cenizas, $39,0 \pm 0,1$ por ciento de grasa cruda, $17,6 \pm 0,2$ por ciento de proteínas y $31,7 \pm 0,1$ por ciento de carbohidratos, encontrándose que en el presente trabajo, el porcentaje de proteína cruda, carbohidratos totales y cenizas fueron menores, mientras que los porcentajes de humedad y grasa cruda fueron mayores. En el caso de granos de cacao peruano CCN 51, se reportan valores de 5,4 - 6 por ciento de humedad, 41,2 - 47,3 por ciento de grasa cruda, 14,2 - 19,9 por ciento de proteína cruda, 5,7 por ciento de fibra cruda, 2,2 - 7,3 por ciento de cenizas y 27,7 - 30,2 por ciento de carbohidratos (Rivera, 2018; Loo, 2019), dichos valores se asemejan mucho a lo reportado en la presente investigación con variaciones en cuanto al contenido de grasa cruda y fibra cruda. Los reportes en mención deben tomarse como referencia, ya que la composición química es variable al origen, varietal, y parámetros de procesamiento (postcosecha y procesado industrial).

Se presentan los resultados del análisis proximal del chocolate en masa al inicio (0 horas) y al final del refinado-conchado (20 horas) (Tabla 8, Anexo 6, Anexo 7)

Tabla 8: Composición proximal de chocolate oscuro al 60 por ciento de cacao

Tiempo de refinado-conchado (h)	Humedad*(%)	Proteína cruda (%)	Grasa cruda (%)	Fibra cruda (%)	Ceniza (%)	Carbohidratos(%)
0	1,94 ± 0,03 ^b	9,43 ± 0,07 ^b	37,45 ± 0,22 ^b	1,84 ± 0,02 ^a	1,88 ± 0,01 ^a	51,23 ± 0,18 ^a
20	1,50 ± 0,07 ^a	7,40 ± 0,48 ^a	36,42 ± 0,14 ^a	1,81 ± 0,03 ^a	1,87 ± 0,02 ^a	54,32 ± 0,47 ^b

Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones de un compósito de chocolate en masa para los tres lotes de chocolate. (*)Los resultados de humedad se reportaron en base húmeda a diferencias de los demás componentes (base seca).

A diferencia de los resultados observados para la materia prima principal (nibs de cacao), en el chocolate como producto terminado, la humedad fue el menor componente en la composición. Los carbohidratos representaron el principal componente (54,32 por ciento), seguido por la grasa (36,42 por ciento) que ocupó el segundo lugar, como podría esperarse, ya que en las formulaciones de chocolate, el azúcar añadido es significativamente superior a la cantidad de manteca de cacao adicional incorporada. Además, la adición de los otros ingredientes redujo el contenido de proteína cruda (7,40 por ciento), humedad (1,50 por ciento), ceniza (1,87 por ciento) y fibra cruda (1,81 por ciento) en chocolates en comparación con los valores obtenidos en nibs de cacao.

Respecto a la humedad, Beckett (2008) menciona que un porcentaje de dos por ciento podría ser perjudicial en cuanto al tiempo de vida útil del chocolate y su textura. En la Tabla 8, se puede observar que los valores de humedad de chocolate a 0 y 20 horas de refinado-conchado, disminuyeron significativamente, de 1,94 a 1,50 por ciento, respectivamente. Afoakwa *et al.* (2007), citado por Ashkezary *et al.* (2018), informaron que un contenido de humedad de las muestras de chocolate por encima del 1,50 por ciento tendría un impacto negativo en las propiedades reológicas. Es por ello que se toma las precauciones de seleccionar ingredientes con muy poca humedad y realizar un proceso óptimo de conchado para que la humedad se pueda evaporar tanto como sea posible. De lo contrario,

aproximadamente por cada 0,3 por ciento de humedad adicional que permanece en el chocolate después del conchado, debe agregarse una cantidad adicional de manteca de cacao al uno por ciento para obtener chocolate con buena capacidad de flujo (Beckett, 2008; Saputro *et al.*, 2019). Todos los autores revisados (Tabla 2) reportaron contenidos de humedad menores al dos por ciento (Mejía *et al.*, 2017; Torres-Moreno *et al.*, 2015; Bobadilla *et al.*, 2017; Chire *et al.*, 2017; Chire, 2019), por lo que se puede afirmar que los resultados del contenido de humedad presentados en la presente investigación estuvieron dentro de un rango aceptable.

El porcentaje de proteína cruda en el chocolate a cero horas de refinado-conchado, fue de $9,43 \pm 0,07$ por ciento, y luego de ser refinado/conchado por 20 h, el contenido de proteínas disminuyó hasta $7,40 \pm 0,48$ por ciento. Según Fischer *et al.* (2010) en su estudio del impacto del sabor del chocolate durante el conchado, uno de los varios compuestos aromáticos cuantificados por análisis termodesorción-GC-MS, fueron las pirazinas (2,3,5-trimetilpirazina, 2,3,5,6-tetrametilpirazina, 2-etil-3,5-dimetilpirazina, 2,3-dietil-5-metilpirazina) siendo la 2,3,5,6-tetrametilpirazina aquella que más se reduce a las 10 y 24 h de conchado, se trata de un compuesto aromático que contiene nitrógeno en su composición, soluble en agua y por lo tanto, volátil en vapor de agua (Wiley, 1982). Durante el conchado, se dan varias reacciones, entre ellas, la más importante es la evaporación de agua, por lo que estos compuestos también se eliminan con el vapor (Guinard y Mazzucchelli, 1999). El método de cuantificación de proteínas es mediante el factor de conversión, pero en sí lo que se cuantifica es el nitrógeno (Romero, 1997), por lo que la reducción en el porcentaje de proteínas de chocolate puede atribuirse a la reducción del compuesto aromático en mención.

Mejía *et al.* (2017), reportaron un valor de $7,9 \pm 0,1$ por ciento de proteína en chocolate oscuro al 70 por ciento de cacao de Piura. Bobadilla *et al.* (2017), reportaron para una cobertura de chocolate al 52 por ciento de cacao un valor de $6,47 \pm 0,04$ por ciento. Así mismo, Torres-Moreno *et al.* (2015), reportaron 6,40 y 6,44 por ciento para chocolate oscuro de cacao de Ecuador y Ghana, respectivamente. Los resultados que reportan dichos autores no varían significativamente entre ellos, excepto por Chire (2019), siendo el contenido de proteína cruda del chocolate oscuro al 70 por ciento de cacao mucho mayor ($11,69 \pm 0,01$ por ciento) a lo reportado en la literatura y en la presente investigación. El contenido de proteína cruda se acercó más a lo reportado por USDA (2017), con un porcentaje igual a 7,14 por ciento para chocolate oscuro de cacao.

El porcentaje de grasa cruda del chocolate refinado-conchado durante 20 horas fue $36,42 \pm 0,14$ por ciento, el cual presenta diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con el chocolate sin refinar, que fue de $37,45 \pm 0,22$ por ciento. El porcentaje de grasa depende del contenido de grasa del grano y de la manteca de cacao añadida. El contenido de grasa obtenido en la presente investigación se encontró en el rango de valores reportados por Chire (2019) y Mejía *et al.* (2017), ambos para chocolates al 70 por ciento de cacao, con $34,56 \pm 0,03$ y $40,0 \pm 0,20$ por ciento de grasa cruda, respectivamente.

Respecto al porcentaje de fibra cruda, no presentaron diferencias significativas el chocolate sin refinar de $1,84 \pm 0,02$ por ciento, con respecto al chocolate refinado-conchado por 20 horas de $1,81 \pm 0,03$ por ciento. Torres-Moreno *et al.*, (2015), también reportaron valores similares: 1,62 y 1,71 por ciento, para chocolates oscuros elaborados con cacao de Ecuador y Ghana, respectivamente. Por otro lado, los resultados obtenidos por Daza (2018), difieren de los obtenidos, con un valor de porcentaje de fibra cruda significativamente menor 0,82 por ciento en chocolate oscuro peruano al 70 por ciento de sólidos de cacao.

En el caso del contenido de cenizas en chocolate, tampoco se obtuvieron diferencias significativas entre chocolate refinado durante 0 y 20 horas, obteniéndose un valor promedio de $1,88 \pm 0,01$ y $1,87 \pm 0,02$ por ciento, respectivamente. Este valor se asemejó más a lo reportado por Mejía *et al.* (2017), que fue $2,10 \pm 0,0$ por ciento para chocolate de Piura al 70 por ciento. Asimismo, Bobadilla *et al.* (2017), obtuvo para cobertura de chocolate al 51 por ciento de cacao un contenido de $1,81 \pm 0,03$ por ciento. Los resultados de Torres-Moreno *et al.*, (2015) de 1,59 y 1,54 por ciento, para chocolates oscuros elaborados con cacao de Ecuador y Ghana respectivamente, estuvieron por debajo de lo obtenido.

Con respecto al contenido de carbohidratos totales, las muestras analizadas a las 0 y 20 h contenían $51,23 \pm 0,18$ y $54,32 \pm 0,47$ por ciento, respectivamente. Como producto final, el resultado fue muy próximo a lo reportado por Bobadilla *et al.* (2017), para cobertura de chocolate oscuro, con un porcentaje de carbohidratos igual a $53,95 \pm 0,07$ por ciento. Por otro lado, el resultado fue ligeramente menor a lo reportado por Torres-Moreno *et al.*, (2015), quien reporta valores de $59,8 \pm 0,0$ y $60,3 \pm 0,0$ por ciento, para chocolates oscuros elaborados con cacao de Ecuador y Ghana, respectivamente.

4.2. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE CHOCOLATE DURANTE EL PROCESO DE REFINADO-CONCHADO

4.2.1. MÉTODO DEL MICRÓMETRO

En la Tabla 9, se presentan los valores de tamaño de partícula de las muestras obtenidas durante el proceso de refinado-conchado de chocolate oscuro al 60 por ciento de cacao de los tres lotes tomados en la presente investigación.

Tabla 9: Tamaño de Partícula (método del micrómetro) durante el proceso de Refinado-Conchado

Tiempo de proceso (h)	Tamaño de partícula por micrómetro (μm)		
	Bloque 1 (Lote 1)	Bloque 2 (Lote 2)	Bloque 3 (Lote 3)
0	340,33 \pm 99,55	238,33 \pm 93,40	243,67 \pm 18,04
2	95,67 \pm 5,51	84,33 \pm 6,03	68,67 \pm 5,69
4	65,33 \pm 1,53	44,33 \pm 2,08	45,00 \pm 5,00
6	47,67 \pm 2,52	38,67 \pm 3,79	32,33 \pm 1,53
8	44,67 \pm 0,58	32,67 \pm 1,53	24,67 \pm 2,52
10	39,67 \pm 0,58	30,00 \pm 2,65	23,33 \pm 1,53
12	32,67 \pm 3,21	26,00 \pm 2,00	19,33 \pm 0,58
14	29,33 \pm 2,08	28,33 \pm 0,58	19,00 \pm 1,00
16	31,00 \pm 2,65	25,67 \pm 1,15	18,33 \pm 0,58
18	30,00 \pm 2,65	24,67 \pm 1,53	17,67 \pm 0,58
20	26,33 \pm 2,08	23,67 \pm 0,58	15,00 \pm 1,00

En la Figura 12, se observa el comportamiento del tamaño de partícula de las muestras con respecto al tiempo de refinado-conchado del Lote 1. La función matemática (por regresión) que relacionó de mejor manera el comportamiento del tamaño de partícula de las muestras del Lote 1, a través del tiempo fue una función Inversa-Y Raíz Cuadrada-X ($p \leq 0,05$; $r^2=0,95$, $EEE= 0,002$). La ecuación que describe dicha función es:

$$TP (\mu\text{m}) = \frac{1}{0,000915745+0,00807263*\sqrt{\theta_{RC}}} \quad (4)$$

Donde:

TP= Tamaño de partícula (μm), θ_{RC} = Tiempo de refinado-conchado (h)

Luego del análisis VNSC se determinó el tiempo a partir del cual el tamaño de partícula no presenta diferencias significativas ($p \leq 0,05$), a dicho tiempo se le consideró el tiempo óptimo de refinado-conchado. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de tamaño de partícula (por micrómetro) a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 1 se muestran en el Anexo 8.

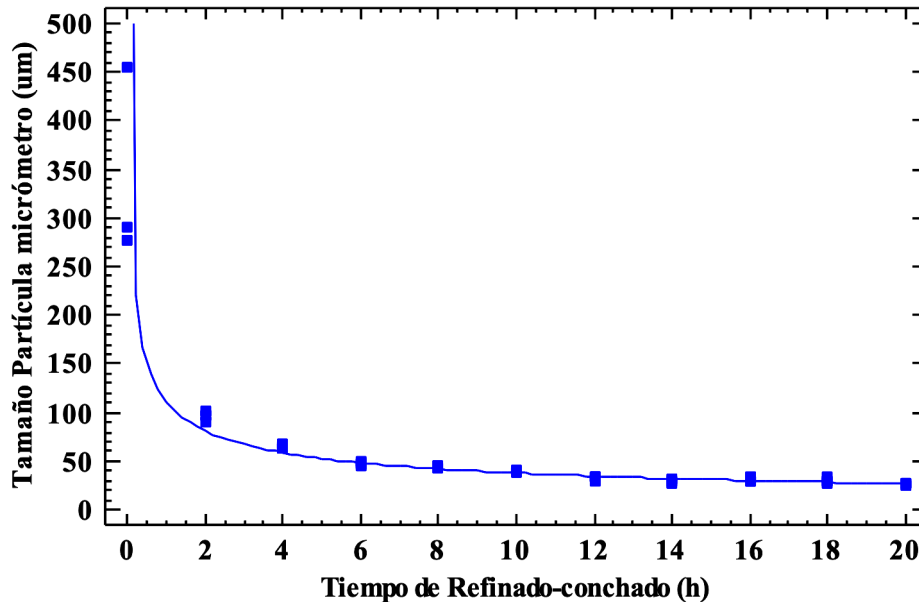


Figura 12: Tamaño de partícula con respecto al tiempo de proceso (Lote 1)

En este caso, no se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) entre el tiempo de dos y cuatro horas, asimismo, entre el tiempo de cuatro y seis horas, el tiempo de seis y ocho horas, ocho y 10 horas, 10 y 12 horas, 12 y 14 horas, 14 y 16 horas, 16 y 18 horas, y finalmente entre los tiempos de 18 y 20 horas, pero si se encontraron diferencias significativas entre dos y 20 horas de refinado-conchado.

Luego de observarse los resultados de la prueba de comparación se puede indicar que a partir de las cuatro horas no se presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según VNSC, este ha sido elegido el tiempo óptimo para el refinado-conchado de chocolate oscuro para este lote. Sin embargo, no resulta conveniente considerar este tiempo (a 65,33 um) debido a que si bien no tienen diferencias significativas con el tratamiento final, el tamaño de partícula difiere mucho del tamaño aceptable en la industria, esto es explicado por Minifie (1999) quien menciona que el tamaño de partícula oscila entre 1 y 50 um, y cuando las partículas son mayores a 30 um causan un sensación de arenosidad en la boca. Servais *et al.* (2002),

mencionan que esto resulta con un tamaño de partícula superior a 35 μm . Otros autores afirman que el tamaño óptimo promedio de partículas de azúcar en el chocolate es de 30–33 μm con un máximo de 50 μm en los EE. UU, y de 20–23 μm con un máximo de 35–40 μm en Europa (Jeffery, 1993). Por otro lado, se ha descrito que el chocolate europeo continental tiene una finura de 15–22 μm y que en Norteamérica es de 20–30 μm (Jackson, 1994, citado por Beckett, 2009). Cabe resaltar que el mercado objetivo del chocolate tipo cobertura ofrecida por la empresa está dirigido al sector de pastelería, es decir, no es un producto de consumo directo, sino que representa un insumo para elaborar tortas, helados, pasteles, etc. En el presente trabajo se considera como tamaño de partícula límite de 30-33 μm , por lo que el tiempo de proceso adecuado de refinado-conchado sería a las 12 h, obteniéndose un tamaño de partícula igual a 32,7 μm en promedio.

La Figura 12, puede dividirse en dos zonas, en la primera se encuentran los tiempos desde 0 hasta cuatro horas y los valores de tamaño de partícula varían desde 340,3 hasta 65,3 μm y una segunda zona en la que la curva empieza a hacerse asintótica, lo que significa que no habría mayores cambios en el tamaño de partícula en el proceso de refinado-conchado aunque transcurra más tiempo. En esta segunda zona están los tiempos desde 4 hasta 20 horas y los valores de tamaño de partícula se encontraron en un rango menor, comprendido entre 65,3 y 26,3 μm . En la primera zona se observa que tiene un comportamiento descendente y eso se debe a que, el tamaño de partícula con el que inicia la mezcla a procesar es comparativamente mayor debido al tamaño de los granos de azúcar, Beckett (2009) afirma que la azúcar granulada tiene un diámetro de aproximadamente 1 mm (1000 μm), por lo que debe romperse muchas veces durante la producción de chocolate. Cada vez que se rompen estos gránulos, se crean nuevas superficies que deben cubrirse con grasa y se redondean por fricción, causando una textura suave al final del proceso (Guinard y Mazzucchelli, 1999).

Existen ya, diversos estudios que demostraron que el tiempo de refinado (refinador de bolas) tienen efecto significativo en las propiedades reológicas y en el tamaño de partículas del chocolate así como en la dureza y propiedades sensoriales del chocolate (Alamprese *et al.*, 2007; Pajin *et al.*, 2011; Zarić *et al.*, 2011). Saputro *et al.* (2019) concluyeron que el tamaño de bola en conjunto con el tiempo de molienda (en refinador de bolas) fueron las variables experimentales más decisivas en la reducción del tamaño de partículas sólidas del chocolate. Además, se ha demostrado que un tiempo prolongado de refinado, puede convertirse en un problema debido a la reducción indeseable del tamaño (Lucisano *et al.*, 2006).

En la Figura 13, correspondiente al Lote 2, se observa el mismo comportamiento ajustándose a una función inversa de Y (Tamaño de partícula)-raíz cuadrada de X (Tiempo de operación) ($p \leq 0,05$, $r^2=0,95$, $EEE=0,003$), cuya ecuación es:

$$TP (\mu\text{m}) = \frac{1}{0,00385749+0,00890198*\sqrt{\theta_{RC}}} \quad (5)$$

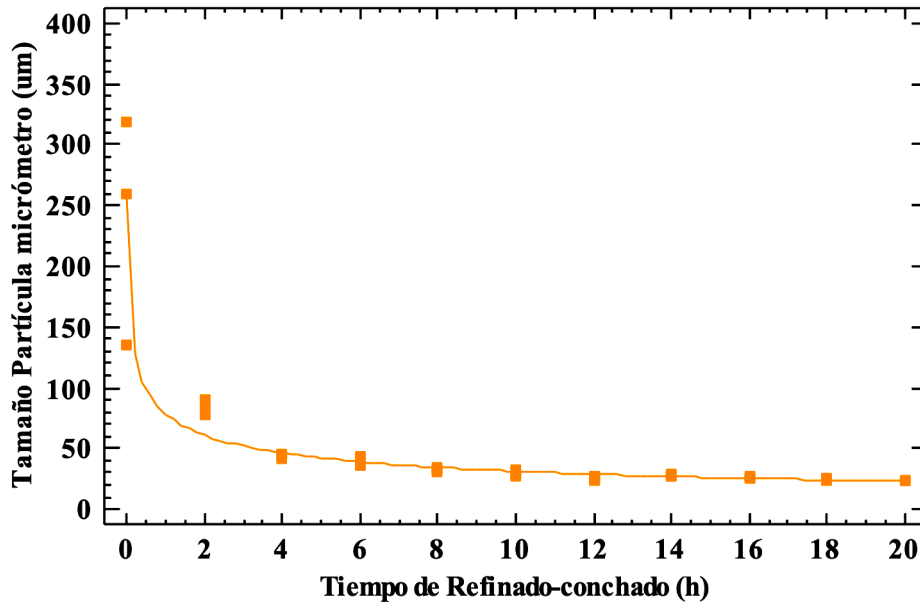


Figura 13: Tamaño de partícula con respecto al tiempo de proceso (Lote 2)

Al igual que el Lote 1, la gráfica presenta una etapa descendente hasta el tiempo de cuatro horas en que se estabilizó, volviéndose asintótica posteriormente. Luego del análisis VNSC, y siguiendo los mismos criterios señalados para el lote anterior se determinó que el tiempo óptimo de refinado-conchado para el segundo lote resultó a las cuatro horas, pero a este tiempo el tamaño de partícula es de 44,3 um y como ya se explicó líneas arriba no sería adecuado. Entonces se consideró como tiempo adecuado de refinado a las 8 horas (32,7 um). La gráfica puede dividirse también en dos zonas, en la primera los valores de tamaño de partícula variaron en un rango más amplio comprendido entre 238,3 y 32,7 um, y una segunda zona que se presentó en un rango menor comprendido entre 32,7 y 23,7 um. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de tamaño de partícula (por micrómetro) a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 2 se muestran en el Anexo 9.

En la Figura 14, se observa el comportamiento del tamaño de partícula de las muestras con respecto al tiempo para el Lote 3. La función matemática que relacionó de mejor manera el

comportamiento del tamaño de partícula a través del tiempo fue una función Inversa-Y ($p \leq 0,05$, $r^2=0,94$, $EEE=0,005$). La ecuación que describe dicha función es:

$$TP (\mu\text{m}) = \frac{1}{0,011103+0,00287615*\theta_{RC}} \quad (6)$$

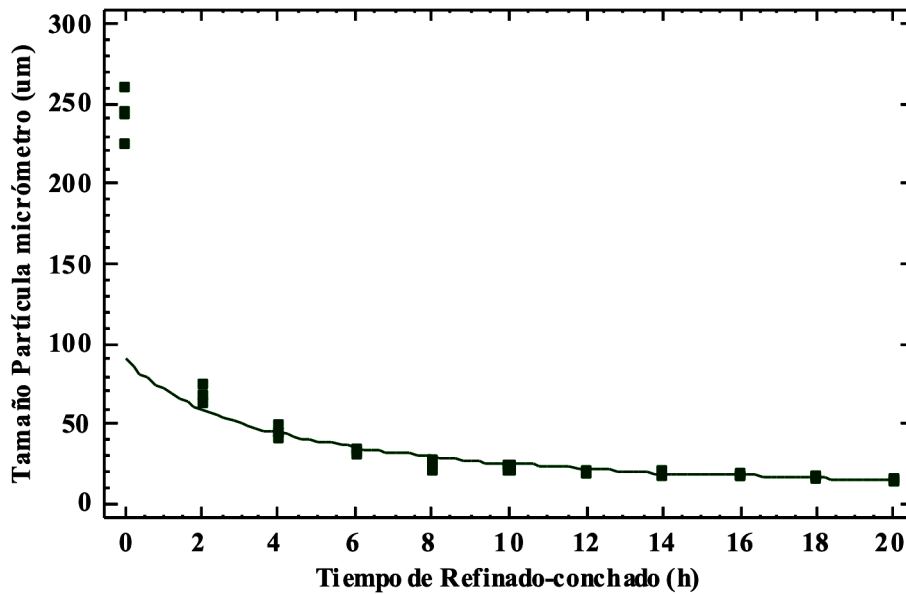


Figura 14: Tamaño de partícula con respecto al tiempo de proceso (Lote 3)

Se pudo determinar por el método VNSC, a partir de las 8 horas de refinado-conchado, no presentaba diferencias significativas en adelante. Además, el tamaño de partícula alcanzado a este tiempo fue de 24,7 μm . Entonces, el tiempo óptimo de operación para este lote fue las 8 horas. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de tamaño de partícula (por micrómetro) a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 3 se muestran en el Anexo 10.

Con fines de generalizar los resultados, se agruparon los datos de los tres lotes de producción, se analizaron los datos por DBCA, encontrándose que existen diferencias significativas entre los bloques (lotes), es decir no fueron homogéneos. Para esta propiedad se encontró que la función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento del tamaño de partícula de todos los lotes juntos, a través del tiempo fue una función logarítmica de Y-raíz cuadrada de X ($p \leq 0,05$; $r^2=0,84$, $EEE=0,298$). La ecuación es la siguiente:

$$TP (\mu\text{m}) = e^{5,20436-0,532632*\sqrt{\theta_{RC}}} \quad (7)$$

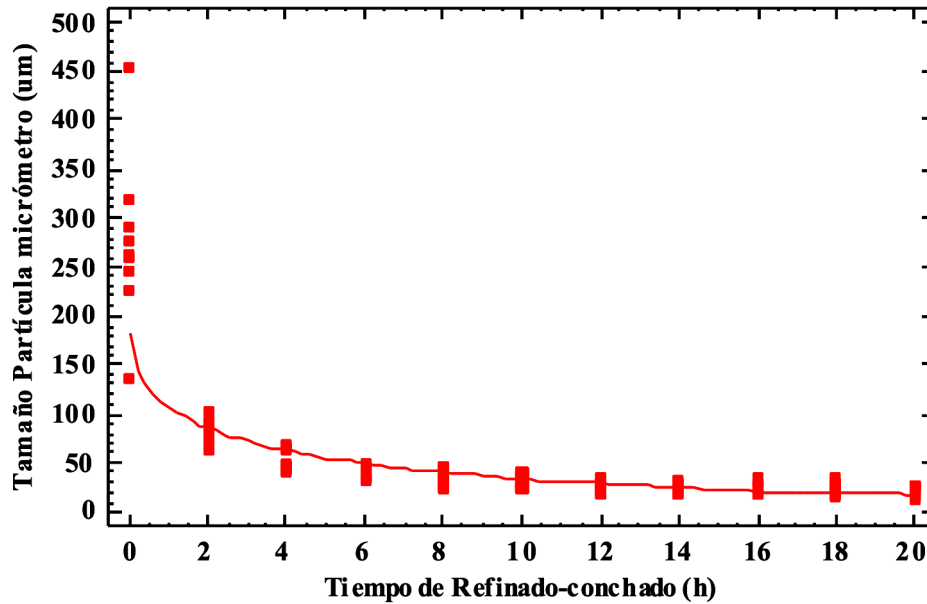


Figura 15: Tamaño de partícula con respecto al tiempo de proceso (Lote 1, 2, 3)

Se observó que no se presentan cambios significativos ($p \leq 0,05$) a partir de las seis horas; sin embargo, se prefiere tomar como tiempo adecuado a las 10 horas de refinado-conchado por VNSC, por las razones previamente explicadas sobre el tamaño de partícula aceptable, obteniendo un valor promedio de 31,0 μm . Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de tamaño de partícula (por micrómetro) a diferentes tiempos de refinado-conchado de los tres lotes juntos se muestran en el Anexo 11.

El rango de valores de tamaño de partícula correspondiente a la primera zona comprende de 274,1 y 39,6 μm y la segunda zona (asintótica) está comprendido entre 39,6 y 21,7 μm . En los tres lotes se observó que las curvas presentaban dos etapas, la primera, como ya se explicó previamente, revela un comportamiento descendente pronunciado en las primeras ocho horas, lo cual puede ser atribuido a lo que afirma Beckett (2009), con respecto al mezclador/refinador/conchador (UNIVERSAL), puesto que, este tipo de máquina reduce el tamaño de partícula rápidamente, pero a medida que la masa se vuelve líquida, las pocas partículas grandes restantes tienen una menor probabilidad de quedar atrapadas en el espacio de molienda y, por lo tanto, las distribuciones de tamaño de partícula resultantes son amplias.

En la Tabla 10, pueden observarse los diferentes tiempos óptimos en cuanto a la propiedad “Tamaño de partícula” para cada lote de producción de la empresa y un valor promedio final de los tres lotes juntos. Puede observarse en la siguiente tabla, que como elección con

respecto a los tres tiempos óptimos obtenidos, se tomó al más prolongado de ellos por seguridad. Entonces, el tiempo óptimo elegido de refinado-conchado de chocolate según el tamaño de partícula por el método del micrómetro es de ocho horas.

Tabla 10: Tiempo óptimo de refinado-conchado según tamaño de partícula (método del micrómetro)

Lote	Tiempo óptimo de refinado-conchado (h)
1	4
2	4
3	8
1,2,3	8

4.2.2. MÉTODO DE ANÁLISIS DINÁMICO DE IMAGEN (D90)

En este trabajo, el percentil 90 o también expresado como D90 (de ahora en adelante se abreviará de esta manera) se utilizó para representar la finura de las partículas sólidas del chocolate, y se ha demostrado en diferentes investigaciones que este valor se correlaciona bastante con lo que realmente prueban las personas (Beckett, 2008, Van der Vaart *et al.*, 2013, citado por Saputro *et al.*, 2019). Además diversos autores han reportado el tamaño de partícula del chocolate utilizando este parámetro, que representa el tamaño de las partículas más grandes (es decir, que el 90 por ciento de las partículas son más finas que dicho tamaño) (Alamprese *et al.*, 2007; De Clercq *et al.*, 2012; Dahlenborg, Millqvist-Fureby, Bergenståhl, 2015; Afoakwa *et al.*, 2008a; Afoakwa *et al.*, 2008b; Ashkezary *et al.*, 2018; Tan y Balasubramanian, 2017; Sokmen y Gunes, 2006; Rohm *et al.*, 2018). Para el estudio de la distribución de tamaño partículas (PSD= Particle Size Distribution) se prefiere, en lugar de utilizar un solo punto de referencia en la distribución como especificación, utilizar dos puntos que describan las partes más gruesas y más finas de la distribución, el D90 o el D10. El D90 describe el diámetro donde el 90 por ciento de la distribución tiene un tamaño de partícula más pequeño y el 10 por ciento, un tamaño de partícula más grande (Horiba Instruments, 2010).

En la Tabla 11, se presentan los valores de D90, de las muestras obtenidas durante el proceso de refinado-conchado de chocolate oscuro al 60 por ciento de cacao de los tres lotes estudiados.

Tabla 11: D90 durante el proceso de Refinado-Conchado

Tiempo de proceso (h)	D90 (um)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
0	188,83± 14,06	149,33± 41,74	154,4 ± 36,36
2	152,20 ± 21,0	155,01 ± 35,02	201,78 ± 8,24
4	111,45 ± 13,17	107,32 ± 13,68	153,39 ± 27,09
6	108,81 ± 29,61	122,99 ± 9,00	93,36 ± 12,80
8	85,51 ±1,97	102,69 ± 9,70	110,38 ± 6,74
10	79,60 ± 8,10	99,52 ± 8,48	97,95 ± 9,08
12	77,39 ± 6,36	81,54 ± 3,08	66,70 ± 8,34
14	92,00 ± 2,51	82,43 ± 6,97	61,44 ± 7,45
16	75,93 ± 5,08	82,20 ± 3,05	69,66 ± 6,98
18	63,46 ± 8,23	72,42 ± 3,81	64,28 ± 7,28
20	54,06 ± 3,60	70,57 ± 11,13	53,67 ± 1,01

En las Figuras 16, 17 y 18, se observa el comportamiento del D90 de las muestras con respecto al tiempo del Lote 1, Lote 2 y Lote 3. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de tamaño de partícula (por análisis dinámico de imagen) a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 1 se muestran en el Anexo 12.

En la Figura 16, correspondiente al Lote 1, se observa que la función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento del D90 de las muestras de chocolate, a través del tiempo fue una función raíz cuadrada de X ($p \leq 0,05$; $r^2=0,86$, $EEE= 15,254$). La ecuación es la siguiente:

$$D_{90} (\mu\text{m}) = 181,669 - 28,6114 * \sqrt{\theta_{RC}} \quad (8)$$

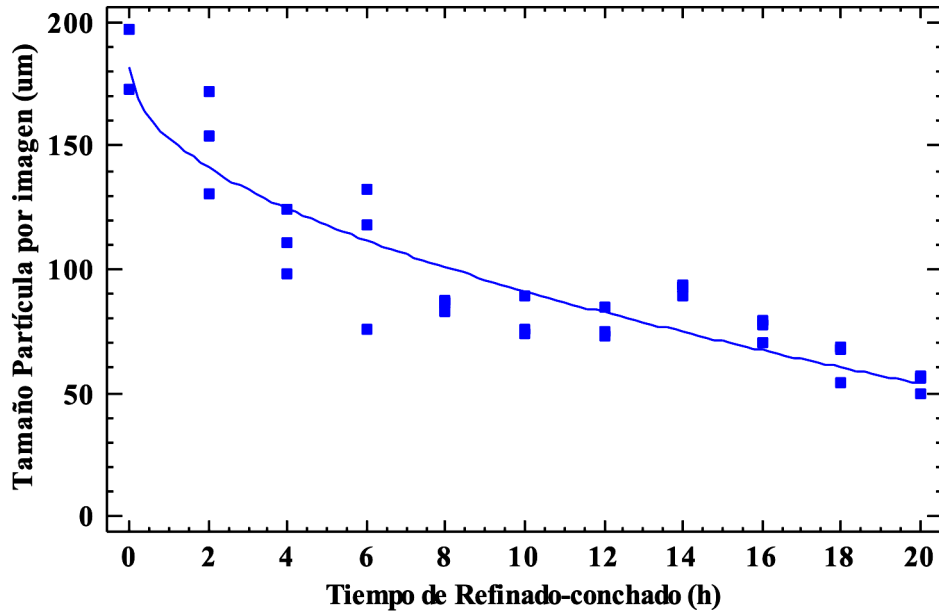


Figura 16: D90 en función del tiempo de proceso (Lote 1)

Se encontraron diferencias significativas entre el tiempo de dos y cuatro horas, asimismo entre el tiempo de cuatro y seis horas, el tiempo de seis y ocho horas ($p > 0,05$). Pero entre las ocho y 10 horas, 10 y 12 horas, 12 y 14 horas, 14 y 16 horas, 16 y 18 horas, y finalmente entre los tiempos de 18 y 20 horas, no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$). Luego del análisis VNSC, se encontró que a partir de las 16 horas de refinado-conchado (tiempo óptimo), no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el valor de D90 durante el proceso de refinado-conchado, debido a que, a partir de este tiempo, no se encontraron diferencias significativas con el tamaño de partícula a las 20 horas (54,06 um).

La Figura 16, puede dividirse en dos zonas, una primera en la que se encuentran los tiempos desde cero hasta ocho horas y en los que los valores de D90 varían desde 178,83 hasta 85,51 um, una segunda zona en la que la curva empieza a hacerse asintótica y se mantiene casi constante. En esta segunda zona están los tiempos desde ocho hasta 20 horas, con valores de D90 varían desde 85,51 um hasta 54,06 um.

En la Figura 17, se observa la función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento del D90 de las muestras del Lote 2, a través del tiempo, la cual fue una función inversa de Y ($p \leq 0,05$; $r^2=0,80$, $EEE= 0,001$). La ecuación es la siguiente:

$$D_{90} (\mu\text{m}) = \frac{1}{0,00672729+0,00382997*\theta_{RC}} \quad (9)$$

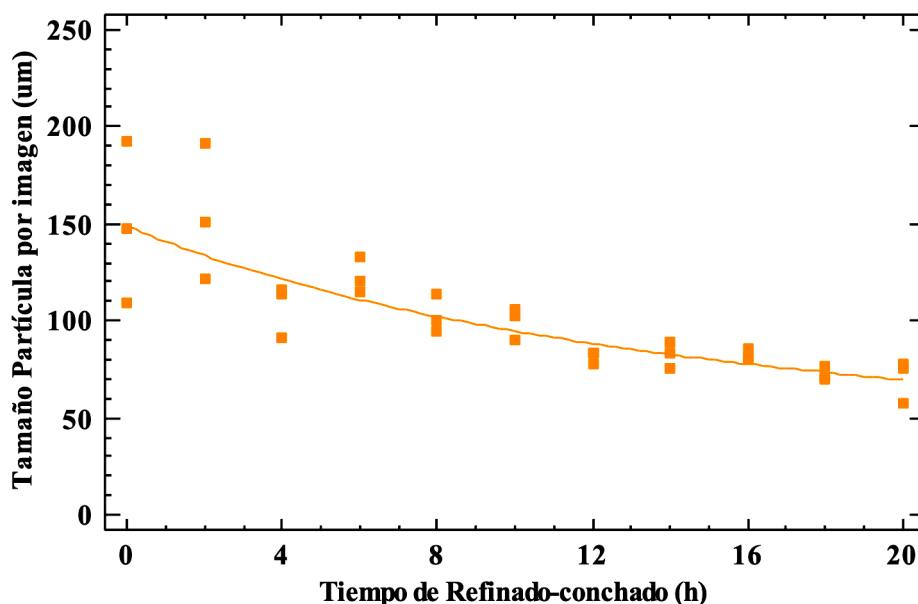


Figura 17: D90 en función del tiempo de proceso (Lote 2)

La gráfica presenta una etapa descendente hasta las 12 horas, en que se estabilizó, volviéndose asintótica posteriormente. Luego del análisis VNSC, y siguiendo los mismos criterios para el lote anterior se determinó que el tiempo óptimo de refinado-conchado para el Lote 2 es de 10 horas, ya que luego de ese periodo no se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de D90 (99,52 μm), con respecto al tiempo de 20 horas (54,06 μm). Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de tamaño de partícula (por análisis dinámico de imagen) a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 2 se muestran en el Anexo 13.

Esta gráfica puede dividirse en dos zonas, la primera en los valores de D90 se encuentran los tiempos desde 0 hasta 10 horas y en los que los valores de D90 variaron en un rango más amplio comprendido entre 173,33 y 99,52 μm , y una segunda zona desde las 10 hasta las 20 horas, en la que se presentó en un rango menor comprendido entre 99,52 y 70,57 μm .

Como se observa en la Figura 18, la función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento del D90 de las muestras del Lote 3, a través del tiempo también fue una función inversa de Y ($p \leq 0,05$; $r^2=0,83$, $EEE=0,002$). La ecuación es la siguiente:

$$D_{90} (\mu\text{m}) = \frac{1}{0,00521324+0,000650635*\theta_{RC}} \quad (10)$$

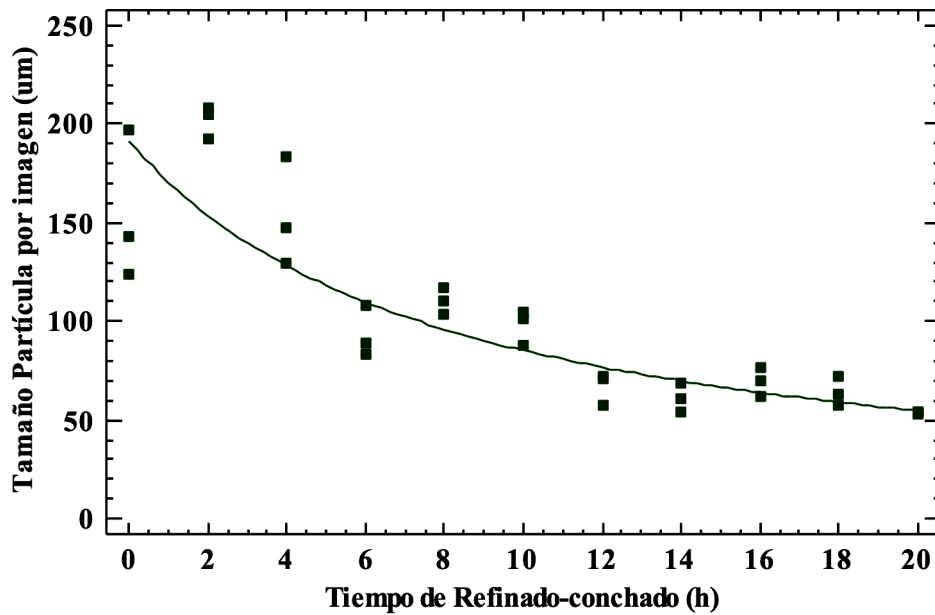


Figura 18: D90 en función del tiempo de proceso (Lote 3)

El tercer lote, presenta una gráfica con similar comportamiento a los demás lotes, presentando dos zonas diferentes. Esta gráfica puede dividirse en dos zonas, la primera en que los valores de D90 se encuentran los tiempos desde 0 hasta 10 horas y en los que los valores de tamaño de partícula variaron en un rango más amplio comprendido entre 113,27 y 97,97 μm , y una segunda zona desde las 10 hasta las 20 horas, en la que se presentó en un rango menor comprendido entre 97,97 μm y 53,67 μm . Luego del análisis VNSC realizado, el tiempo óptimo determinado es de 10 horas puesto que los tiempos que siguieron a continuación presentaban valores de D90 que no variaron significativamente del obtenido a dicho tiempo óptimo. El valor D90 alcanzado a este tiempo fue de 97,97 μm . Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de tamaño de partícula (por análisis dinámico de imagen) a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 3 se muestran en el Anexo 14.

Al analizar los datos de los tres lotes juntos por DBCA (Figura 19), se encontró que no existen diferencias significativas entre los bloques (lotes) ($p > 0,05$). Para esta propiedad se encontró que la función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento del D90 de los lotes juntos, a través del tiempo fue una función inversa de Y ($p \leq 0,05$; $r^2=0,77$, $EEE= 0,002$). La ecuación es la siguiente:

$$D_{90} (\mu\text{m}) = \frac{1}{0,00601032+0,000525427*\theta_{RC}} \quad (11)$$

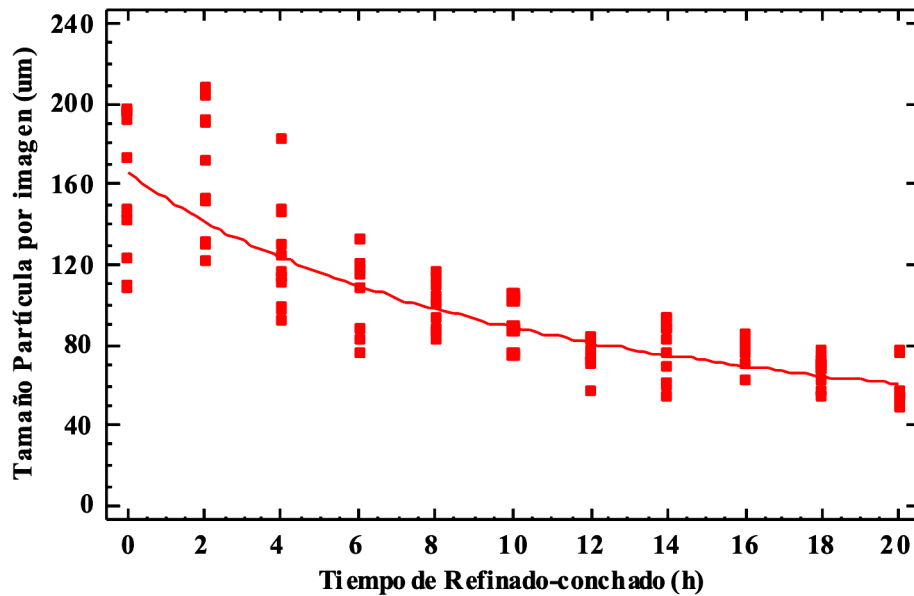


Figura 19: D90 en función del tiempo de proceso (Lote 1, 2, 3)

Esta gráfica puede dividirse en dos zonas, la primera en los valores de D90 se encuentran los tiempos desde 0 hasta 12 horas y en los que los valores de tamaño de partícula variaron en un rango más amplio comprendido entre 189,97 y 75,21 μm , y una segunda zona desde las 12 hasta las 20 horas, en la que se presentó en un rango menor comprendido entre 75,21 y 59,43 μm . Al realizar el análisis VN-SC, el tiempo óptimo determinado fue de 16 horas puesto que los tiempos que siguieron a continuación presentaban valores de D90 que no variaron significativamente. El valor D90 alcanzado a este tiempo fue de 75,93 μm . Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de tamaño de partícula (por análisis dinámico de imagen) a diferentes tiempos de refinado-conchado de los tres lotes se muestran en el Anexo 15.

Hinneh *et al.* (2019), reportaron que para un chocolate oscuro (27 por ciento de grasa) elaborado en un molino refinador a las 1,50 y 3,00 h se obtuvieron valores de D90 de $67,42 \pm 8,97$ y $65,39 \pm 2,02$ μm , respectivamente. Los valores reportados en la investigación fueron mayores a los encontrados en la literatura para el mismo número de horas.

Cuando se obtienen las imágenes microscópicas del chocolate refinado, las partículas de azúcar muestran una superficie lisa y bordes afilados, mientras que las partículas de cacao

se caracterizan por una superficie rugosa e irregular, lo que generalmente conduce a una superficie específica más alta y, por lo tanto, afecta la reología y la textura del chocolate final (Rohm *et al.*, 2018).

En la Tabla 12, pueden observarse los diferentes tiempos óptimos en cuanto al valor de D90 para cada lote de producción de la empresa. Como puede observarse en la Tabla 12, el tiempo óptimo final elegido tomando en cuenta los tres lotes en estudio, fue el más prologado de ellos, es decir, de 16 horas.

Tabla 12: Tiempo óptimo de refinado-conchado según tamaño de partícula (método de análisis dinámico de imagen – D90)

Lote	Tiempo óptimo de refinado-conchado (h)
1	16
2	10
3	10
1,2,3	16

Como puede observarse en la Figura 20, a diferencia del “método del micrómetro”, la medición por el “método de análisis dinámico de imagen”, presenta valores del tamaño de partícula más altos. Tan y Balasubramanian (2017), afirman que las mediciones realizadas con el “método del micrómetro” fueron menores que las mediciones producidas por otros métodos como el “método de análisis dinámico de imagen” por microscopía de luz, obtuvieron tres mediciones del tamaño de partícula para el chocolate refinado/conchado durante 24 horas: 20,83, 6,00 y 51,48 μm , medidos por el “método de difracción láser”, “método del micrómetro” y “método de análisis dinámico de imagen”, respectivamente. Asimismo, encontraron, con ayuda del “método de análisis dinámico de imagen” para partículas de cacao, que a medida que las partículas de cacao se refinaban durante más tiempo se creaban más partículas planas y pequeñas.

En la presente investigación también se obtuvieron valores de tamaño de partícula por “el método de análisis dinámico de imagen” más grandes que los reportados por el “método del micrómetro”. Una teoría para explicar este fenómeno es explicada por Tan y Balasubramanian (2017), pues el haz de luz del equipo ilumina las partículas pequeñas y delgadas ($<10 \mu\text{m}$) y penetra parcialmente dichas partículas pequeñas, lo que disminuye la

intensidad de los píxeles que representan las pequeñas partículas en las imágenes. Además, el número de partículas que pueden detectarse a partir de las imágenes debe ser lo suficientemente grande (> 80 partículas) para poder calcular la distribución del tamaño de partícula de las muestras. Por lo tanto, es muy probable que algunas de las partículas pequeñas se filtren junto con el ruido de fondo durante el umbral de la imagen y la erosión. Con el número de partículas pequeñas disminuida en gran medida, los valores de D90 se acercan al tamaño de las partículas más grandes.

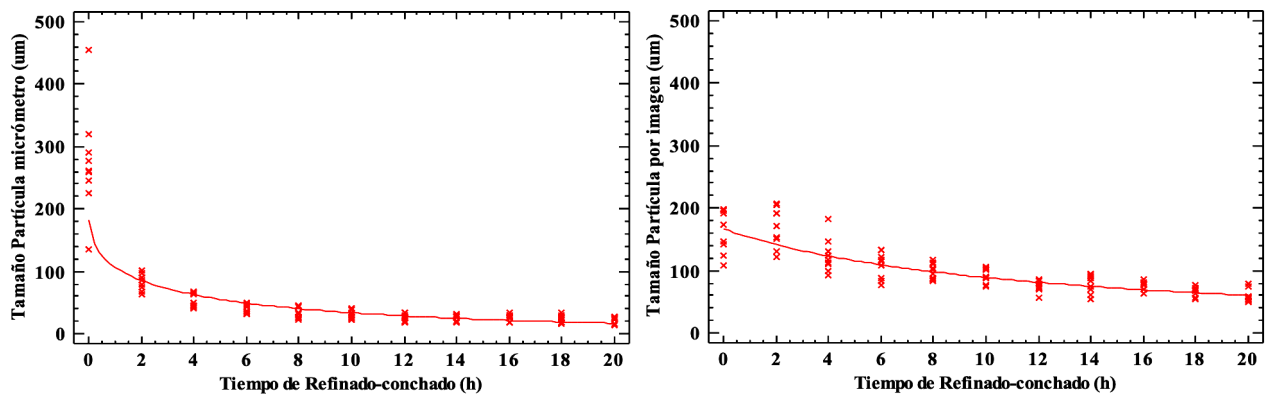


Figura 20: Tamaño de partícula por ambos métodos en función del tiempo de proceso (Lote 1, 2, 3); a: por m.micrómetro; b: por m.análisis imagen

Se pudieron obtener las imágenes capturadas por el equipo analizador de partículas durante toda la operación de refinado-conchado y se muestran en el Anexo 44.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DE CHOCOLATE DURANTE EL PROCESO DE REFINADO-CONCHADO

En la Tabla 13, se presentan los valores de viscosidad (viscosidad plástica) de las muestras obtenidas durante el proceso de refinado-conchado de chocolate oscuro al 60 por ciento de cacao de los tres lotes estudiados en la presente investigación. Se puede observar que se reportan los valores de R2 correspondiente al ajuste del modelo de NCA/CMA Casson, obtenidos con el software Reocalc.

Tabla 13: Viscosidad Plástica (Pa.s) de chocolate durante el proceso de Refinado-Conchado

Tiempo de proceso (h)	Viscosidad plástica (Pa.s)					
	Lote 1	R ²	Lote 2	R ²	Lote 3	R ²
0	2,43 ± 0,04	96,90	2,06 ± 0,02	97,50	2,47 ± 0,02	97,37
2	2,50 ± 0,07	97,07	2,66 ± 0,12	97,13	2,85 ± 0,12	98,20
4	2,75 ± 0,07	96,80	2,68 ± 0,06	97,97	2,92 ± 0,07	98,10
6	2,90 ± 0,05	97,27	2,69 ± 0,05	96,80	3,03 ± 0,09	98,13
8	2,99 ± 0,14	98,00	2,98 ± 0,09	98,07	3,04 ± 0,03	97,97
10	2,72 ± 0,04	98,23	2,92 ± 0,09	97,87	3,10 ± 0,07	98,23
12	2,83 ± 0,08	97,57	2,94 ± 0,06	98,10	3,15 ± 0,04	98,17
14	2,98 ± 0,08	97,57	3,04 ± 0,07	98,03	3,04 ± 0,21	98,10
16	2,96 ± 0,25	98,17	3,03 ± 0,04	98,67	3,15 ± 0,24	98,03
18	2,90 ± 0,14	97,97	3,10 ± 0,04	97,87	3,27 ± 0,07	98,07
20	2,87 ± 0,07	98,20	3,11 ± 0,06	98,23	3,31 ± 0,26	97,80

En las Figuras 21, 22, y 23, se observa el comportamiento de la viscosidad plástica de las muestras con respecto al tiempo del Lote 1, Lote 2 y Lote 3.

En la Figura 21, se muestra la función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento de la viscosidad plástica de las muestras del Lote 1 a través del tiempo, siendo una función polinomial de segundo orden ($p \leq 0,05$; $r^2=0,60$, $EEE= 0,133$). La ecuación es la siguiente:

$$\eta_{CA} \text{ (Pa.s)} = 2,45177 + 0,0700004 * \theta_{RC} - 0,0024932 * \theta_{RC}^2 \quad (12)$$

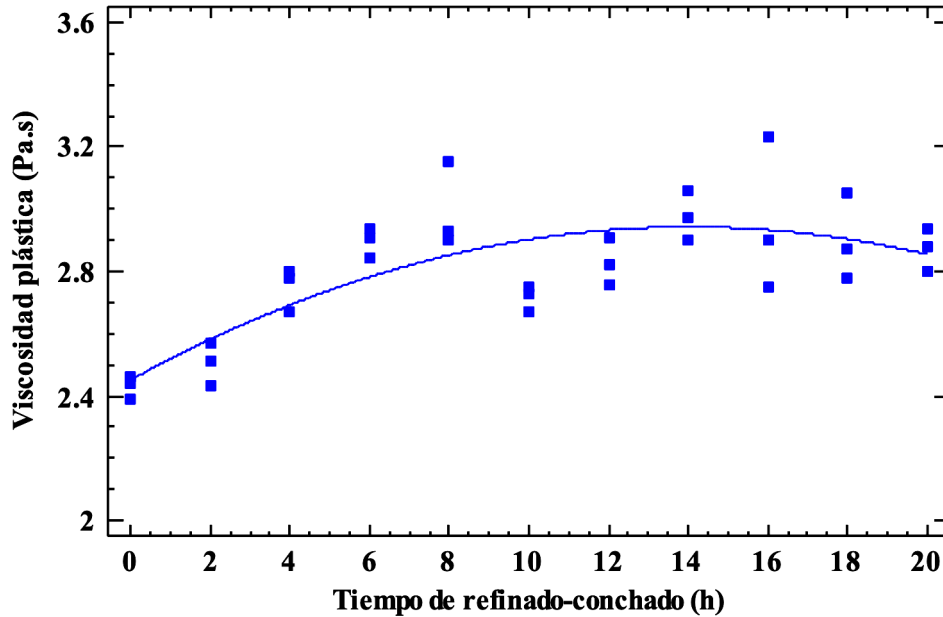


Figura 21: Viscosidad plástica con respecto al tiempo de proceso (Lote 1)

En este caso, no se encontraron diferencias entre el tiempo de cero y dos horas, asimismo entre el tiempo de cuatro y seis horas, el tiempo de seis y ocho horas, 10 y 12 horas, 12 y 14 horas, 14 y 16 horas, 16 y 18 horas, y finalmente entre los tiempos de 18 y 20 horas ($p > 0,05$). Sin embargo, si las hay entre dos con cuatro horas, y ocho con 10 horas ($p \leq 0,05$).

La Figura 21, puede dividirse en tres zonas, una primera en la que se encuentran los tiempos desde 0 hasta 8 horas y en los que las viscosidades plásticas se incrementan desde 2,43 hasta 2,99 Pa.s, una segunda zona que va de las 8 a 12 horas, en la que la viscosidad plástica disminuye significativamente de 2,99 hasta 2,83 Pa.s, y finalmente la curva comienza a hacerse asintótica, lo que significa que no habría mayores cambios en la viscosidad plástica en la operación de refinado-conchado aunque transcurra más tiempo. En esta última zona, en donde están los tiempos desde 12 hasta 20 horas, la viscosidad estuvo comprendida entre 2,83 y 2,87 Pa.s. Fue justamente en el primero de dichos tiempos (12 horas) aquel que se designa como tiempo óptimo de refinado-conchado, puesto que no tendría sentido operar por más tiempo la máquina ya que en cuanto a viscosidad plástica, no se obtienen resultados significativamente diferentes. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de viscosidad plástica a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 1 se muestran en el Anexo 16.

Afoakwa (2010) ha reportado valores de viscosidades de 1 a 6 Pa s. Asimismo, se han reportado valores de referencia para chocolates oscuros entre 2,1 y 3,9 Pa.s (Aeschlimann y Beckett, 2000; citado por Aidoo *et al.*, 2014). Los valores de viscosidad plástica de este trabajo estuvieron dentro del rango mencionado por dichos autores. En contraste con Saputro *et al.* (2019) quienes reportan valores de 3,4, 4,92 y 6,44 Pa.s para 15, 30 y 45 minutos de molienda (por mecanismo de bolas); Rohm *et al.* (2018), con valores de viscosidad plástica de Casson para chocolate oscuro refinado por 20, 60 y 90 min (refinador de bolas) iguales a $5,2 \pm 0,01$, $4,4 \pm 0,01$, $4,1 \pm 0,15$ Pa.s, respectivamente. Saputro *et al.* (2017) hace mención que en los molinos o refinadores de bolas, la viscosidad de chocolate resulta mayor por la ineficiente remoción de humedad, lo cual provoca la formación de agregados que inmovilizan la grasa.

Pontillon (1988) menciona que existen rangos de aceptabilidad para los parámetros reológicos del chocolate, que dependen del uso final para el que está destinado el producto, en cuanto a la viscosidad debería estar en un rango de 1 a 2 Pa.s. Es importante mencionar que, Saputro *et al.* (2019), encontró que a valores de D90 más bajos, se exhibió una viscosidad Casson ligeramente mayor. Los valores de viscosidad de Casson que reportan para un chocolate (refinado por rodillos) con 0,2, 0,3 y 0,4 por ciento de lecitina de soya, con un porcentaje de grasa igual a 36 por ciento, fueron de 3,09, 2,65 y 2,42 Pa.s, respectivamente. Cabe resaltar que en la presente investigación no se utilizó ningún tipo de emulsionante. Asimismo, Schumacher *et al.* (2009) reportan que a nivel industrial el chocolate formulado tuvo 9,2 Pa.s y Glicerina *et al.* (2016) reporta $6,87 \pm 0,03$ Pa.s de viscosidad para chocolate oscuro al 60 por ciento de cacao. Estos últimos valores son mucho mayores a lo indicado por Fernandes *et al.* (2013) quienes reportan para una cobertura al 70 por ciento de cacao un valor de viscosidad de 0,9 Pa.s.

En la Figura 22, correspondiente al Lote 2, se observa el mismo comportamiento ajustándose a una función Y (Tamaño de partícula) cuadrada-raíz cuadrada de X (Tiempo de operación) ($p \leq 0,05$, $r^2=0,89$, $EEE=0,056$), cuya ecuación es la siguiente:

$$\eta_{CA} \text{ (Pa. s)} = \sqrt{4,79505 + 1,15551 * \sqrt{\theta_{RC}}} \quad (13)$$

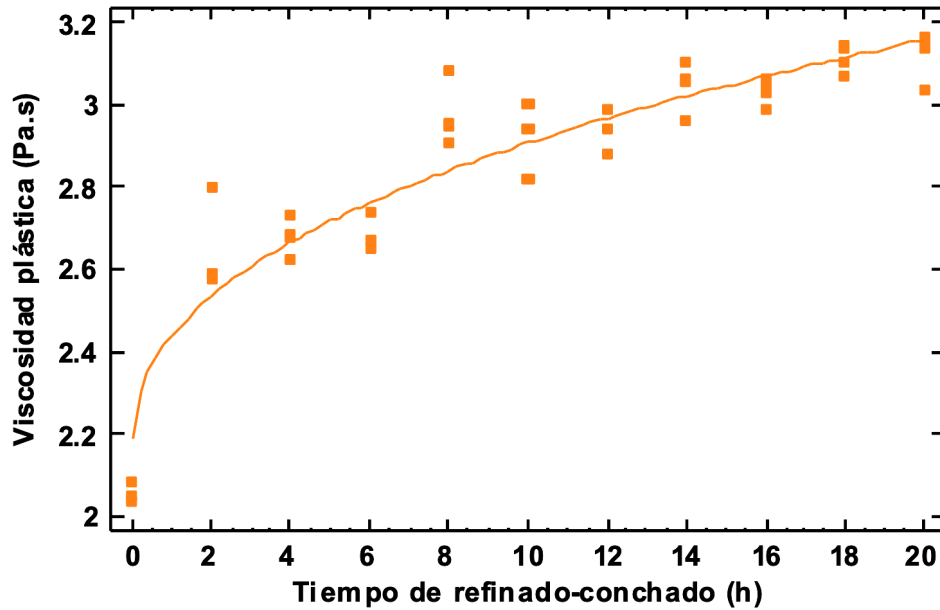


Figura 22: Viscosidad plástica con respecto al tiempo de proceso (Lote 2)

La gráfica presenta una etapa ascendente hasta el tiempo de 12 horas, luego se observa que disminuye a las 14 horas, para luego aumentar y estabilizarse a las 16 horas, volviéndose asintótica posteriormente. Luego del análisis VNSC, y siguiendo los mismos criterios señalados para el lote anterior se determinó que el tiempo óptimo de refinado-conchado para el segundo lote es de 16 horas, ya que luego de este periodo no se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de viscosidad plástica para tiempos más prolongados. El valor de viscosidad plástica alcanzado a este tiempo fue de 3,67 Pa.s. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de viscosidad plástica a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 2 se muestran en el Anexo 17.

En el caso del Lote 3 (Figura 23), la función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento de la viscosidad plástica a través del tiempo fue una función de logaritmo de Y raíz cuadrada de X ($p \leq 0,05$, $r^2 = 0,74$, $EEE = 0,044$). La ecuación es la siguiente:

$$\eta_{CA} \text{ (Pa.s)} = e^{0,94155 + 0,0564401 \cdot \sqrt{\theta_{RC}}} \quad (14)$$

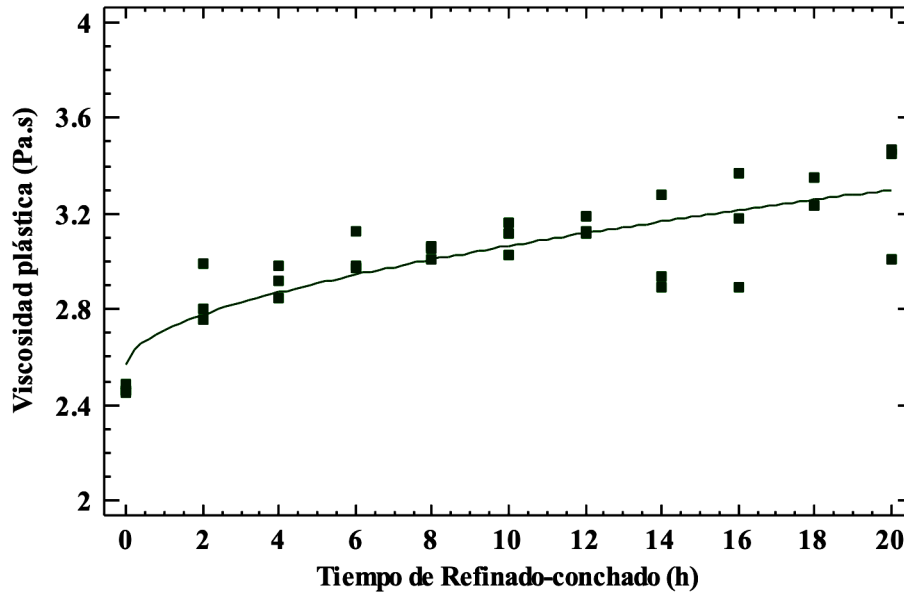


Figura 23: Viscosidad plástica con respecto al tiempo de proceso (Lote 3)

Si bien no hubo diferencias significativas entre 10, 12, 16, 18 y 20 h, a las 14 h si presentó diferencias con el tiempo de 20 horas ($p \leq 0,05$). La Figura 23, presenta una curva que muestra una etapa ascendente hasta el tiempo de 12 horas, luego disminuye a las 14 horas, al igual que en el segundo lote, para luego aumentar y estabilizarse a las 16 horas, volviéndose asintótica posteriormente. Esta disminución repentina de la viscosidad a las 14 h podría ser explicado por el hecho de que a partir de las 12 h el tamaño de partícula no disminuyó significativamente como en las anteriores horas, y la estructura conjunta de partículas de cacao y azúcar en la masa pudieron disponerse (en equilibrio) puesto que la grasa no ligada y recién liberada puede seguir reordenándose con las siguientes horas de proceso, a fin de cubrir las demás superficies nuevas de partículas que se van formando con la cizalladura.

Se pudo determinar por el método VNSC, a partir de las 16 horas de refinado-conchado, no presentaba diferencias significativas en adelante. Es decir, el tiempo óptimo de operación fue de 16 horas y la viscosidad plástica alcanzada a este tiempo fue de 3,15 Pa.s. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de viscosidad plástica a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 3 se muestran en el Anexo 18.

Al analizar los datos de viscosidad plástica de los tres lotes por DBCA, se encontró que existen diferencias significativas entre los bloques (lotes), es decir, no son homogéneos (Figura 24). Para esta propiedad, se encontró que la función matemática que relacionó de

mejor manera el comportamiento de la viscosidad plástica de todos los lotes juntos, a través del tiempo fue una función Logaritmo de Y-raíz cuadrada de X ($p \leq 0,05$; $r^2=0,62$, $EEE=0,061$). La ecuación es la siguiente:

$$\eta_{CA} \text{ (Pa.s)} = e^{0,880543+0,0608181*\sqrt{\theta_{RC}}} \quad (15)$$

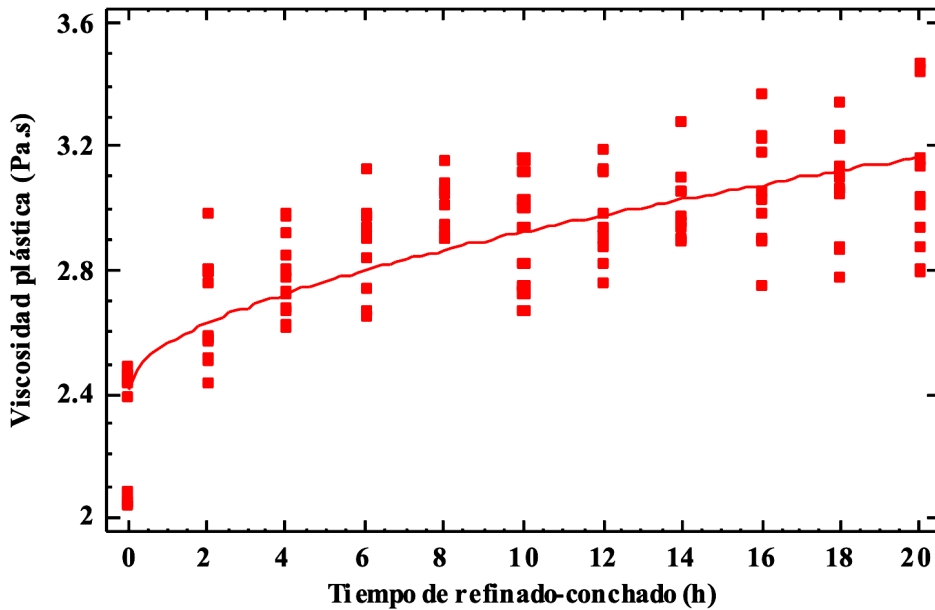


Figura 24: Viscosidad plástica con respecto al tiempo de proceso (Lotes 1, 2, 3)

Luego del análisis VNSC se determinó el tiempo a partir del cual la viscosidad plástica no presenta diferencias significativas ($p>0,05$), encontrándose que el tiempo óptimo es de 14 horas. Los tiempos que siguieron a continuación presentaban valores de viscosidad plástica que no variaron significativamente. En la Figura 24, se observa que el rango de valores de viscosidad plástica correspondiente a la última zona asintótica está comprendido entre 3,02 y 3,10 Pa.s. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de viscosidad plástica a diferentes tiempos de refinado-conchado de los tres lotes juntos se muestran en el Anexo 19. En la Tabla 14, pueden observarse los diferentes tiempos óptimos en cuanto a la propiedad “Viscosidad plástica” para cada lote de producción de la empresa. Como puede observarse en la Tabla 14, el tiempo óptimo final elegido tomando en cuenta los tres lotes en estudio, determinado con los valores de viscosidad, fue el más prologado de ellos, es decir, de 16 horas.

Tabla 14: Tiempo óptimo de refinado-conchado según Viscosidad plástica

Lote	Tiempo óptimo de refinado-conchado
1	12
2	16
3	16
1,2,3	16

En los tres lotes el comportamiento es similar, a mayor tiempo de refinado-conchado, la viscosidad plástica se incrementa. Esto también lo corrobora Sokmen y Gunes (2006), quienes afirman que mientras más pequeñas son las partículas, mayor es la viscosidad plástica, debido al incremento de superficies de contacto con la manteca de cacao. Chevalley (1975) citado por Sokmen y Gunes (2006), reporta para un chocolate con partículas más finas, una viscosidad plástica 1,2 a 2,0 veces mayor. En cuanto más pequeñas son las partículas, más grande será el área de superficie específica; esto implica la presencia de más puntos de contacto y más interacción entre partículas (Chevalley, 1991). Por dichas razones, si solo se toma en cuenta los resultados de tamaño de partícula, se esperaría valores reológicos más altos (en términos de esfuerzo de fluencia, viscosidad y tixotropía); sin embargo, las propiedades microestructurales y, por lo tanto, reológicas de las muestras de chocolate se ven afectadas no solo por el tamaño de partícula, sino también por otros factores, que incluyen la cantidad y distribución de grasa, la presencia de emulsionantes y partículas sólidas y la forma de las partículas. Por lo tanto, la calidad y la cantidad de ingredientes son muy importantes para las características finales de los productos (Glicerina *et al.*, 2016). Otros autores afirman que las propiedades reológicas del chocolate como la viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia de chocolate cambian con la duración y temperatura de conchado, pues si esta se incrementa, la viscosidad disminuye (Olinger, 1994; citado por Sokmen y Gunes, 2006; Vivar *et al.*, 2008). En realidad, cualquier disturbio por el que pase el chocolate en masa puede afectar la viscosidad, así como la cantidad de humedad, temperatura de conchado, y las demás etapas del proceso de elaboración del chocolate (Servais *et al.*, 2004).

4.4. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO MÍNIMO DE FLUENCIA DE CHOCOLATE DURANTE EL PROCESO DE REFINADO-CONCHADO

En la Tabla 15, se presentan los valores de esfuerzo mínimo de fluencia de las muestras obtenidas durante la operación de refinado-conchado para los tres lotes de chocolate oscuro.

Se puede observar que se reportan los valores de R2 correspondiente al ajuste del modelo de NCA/CMA Casson, obtenidos con el software Reocalc.

Tabla 15: Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) de chocolate durante el proceso de Refinado-Conchado

Tiempo de proceso (h)	Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)					
	Lote 1	R ²	Lote 2	R ²	Lote 3	R ²
0	4,57 ± 0,23	96,90	4,24 ± 0,07	97,50	4,90 ± 0,15	97,37
2	6,21 ± 0,11	97,07	8,78 ± 0,22	97,13	10,33 ± 0,35	98,20
4	10,70 ± 0,46	96,80	8,88 ± 0,24	97,97	13,80 ± 0,69	98,10
6	10,50 ± 0,17	97,27	11,53 ± 0,15	96,80	16,40 ± 0,44	98,13
8	11,93 ± 0,40	98,00	12,77 ± 0,35	98,07	18,10 ± 0,40	97,97
10	14,30 ± 0,20	98,23	14,50 ± 0,36	97,87	19,20 ± 0,61	98,23
12	15,57 ± 0,40	97,57	17,53 ± 1,21	98,10	21,57 ± 0,21	98,17
14	17,03 ± 2,80	97,57	15,73 ± 0,23	98,03	21,50 ± 1,15	98,10
16	16,90 ± 1,51	98,17	16,33 ± 0,42	98,67	22,57 ± 1,31	98,03
18	16,53 ± 0,25	97,97	17,40 ± 0,30	97,87	22,30 ± 0,20	98,07
20	16,57 ± 0,25	98,20	17,03 ± 0,47	98,23	22,73 ± 0,93	97,80

En la Figura 24, se puede observar el comportamiento del esfuerzo mínimo de fluencia de las muestras con respecto al tiempo de operación del Lote 1. La función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento del esfuerzo mínimo de fluencia de las muestras a través del tiempo fue una función polinómica de segundo orden ($p \leq 0,05$, $r^2 = 0,94$, $EEE = 1,115$). La ecuación es la siguiente:

$$\tau_{CA}(\text{Pa}) = 4,32606 + 1,37679 * \theta_{RC} - 0,037803 * \theta_{RC}^2 \quad (16)$$

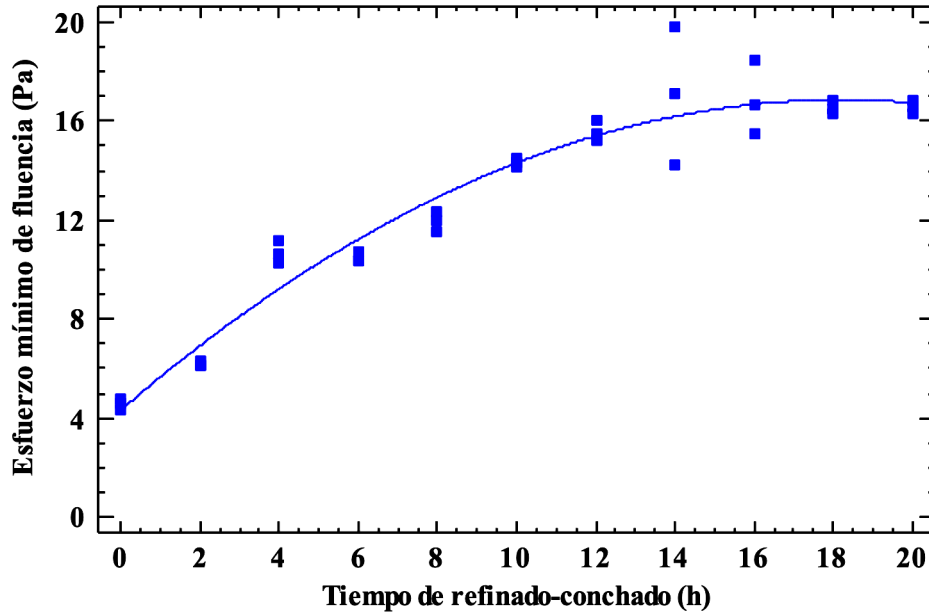


Figura 25: Esfuerzo mínimo de fluencia con respecto al tiempo de proceso (Lote 1)

Como puede observarse, no se encontraron diferencias entre el tiempo de cero y dos horas, asimismo entre el tiempo de cuatro y seis horas, el tiempo de seis y ocho horas, 10 y 12 horas, 12 y 14 horas, 14 y 16 horas, 16 y 18 horas, y finalmente entre los tiempos de 18 y 20 horas ($p > 0,05$). Sin embargo, si las hay entre 2 y 4 horas, y 8 y 10 horas ($p \leq 0,05$).

Luego de observarse los resultados de la prueba de comparación se puede indicar que el tiempo más correcto para el refinado-conchado de chocolate oscuro para el Lote 1 fue de 12 horas, debido a que, a partir de este tiempo no se encontraron diferencias significativas entre los esfuerzos mínimos de fluencia durante los tiempos de refinado-conchado que siguieron a continuación. El esfuerzo mínimo de fluencia alcanzado a este tiempo fue de 15,57 Pa. No se escogió el tiempo de 10 horas, ya que, si bien no tiene diferencia significativa con el siguiente tiempo de 12 h ($p > 0,05$), si lo tiene con el tiempo de 14, 16, 18 y 20 horas ($p \leq 0,05$).

La Figura 25, puede dividirse en dos zonas, una primera en la que se encuentran los tiempos desde cero hasta 12 horas y en los que los esfuerzos mínimos de fluencia se incrementan desde 4,57 hasta 15,57 Pa, y una segunda zona en la que la curva comienza a hacerse asintótica, lo que significa que no habría mayores cambios en la viscosidad plástica en la operación de refinado-conchado, aunque transcurra más tiempo. En esta zona están los

tiempos desde 12 hasta 20 horas, y es justamente en el primero de estos tiempos (12 horas) aquel que se designa como tiempo óptimo de refinado-conchado, puesto que no tendría sentido operar por más tiempo la máquina, ya que, en cuanto al esfuerzo mínimo de fluencia, no se obtienen resultados significativamente diferentes con respecto a los demás. En la segunda zona (de 12 a 20 h), los valores de tamaño de partícula se encontraron en un rango mayor, comprendido entre 15,57 y 16,57 Pa. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de esfuerzo mínimo de fluencia a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 1 se muestran en el Anexo 20.

En cuanto al Lote 2, se presentan la gráfica del comportamiento del esfuerzo mínimo de fluencia a través del tiempo de proceso, en la Figura 26, en la que se puede observar que el comportamiento se relaciona a una función polinómica de segundo orden ($p \leq 0,05$, $r^2=0,95$, $EEE=0,953$). La ecuación es la siguiente:

$$\tau_{CA}(\text{Pa}) = 4,78683 + 1,36901 * \theta_{RC} - 0,0379973 * \theta_{RC}^2 \quad (17)$$

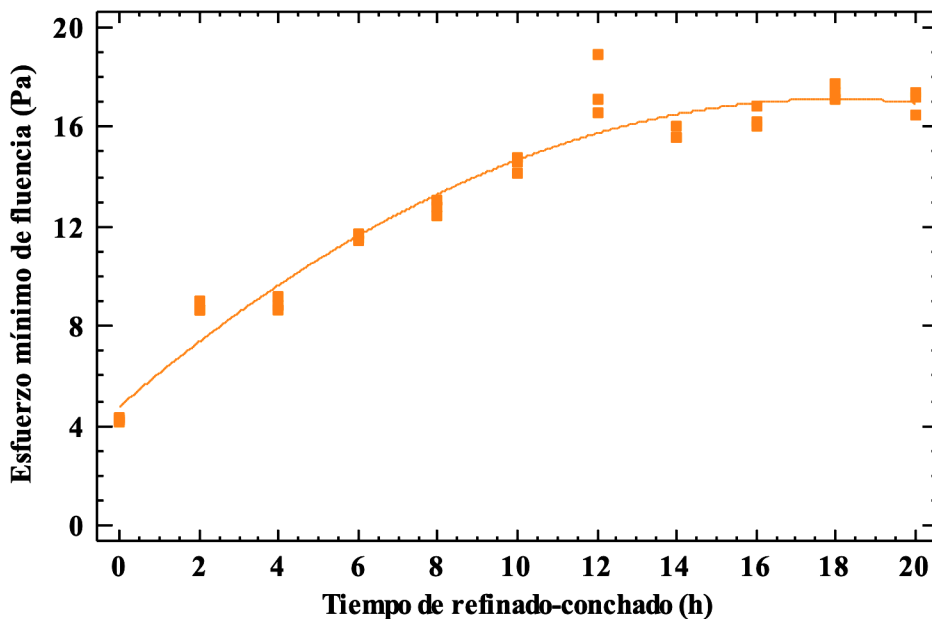


Figura 26: Esfuerzo mínimo de fluencia vs tiempo de proceso (Lote 2)

La Figura 26 presenta un comportamiento ascendente hasta las 12 horas, luego a las 14 horas, el esfuerzo mínimo de fluencia disminuye significativamente de 17,53 hasta 15,73 Pa. Esto también ocurrió con la viscosidad y puede ser explicado por Beckett (2009), quien reconoció

que “a diferencia del esfuerzo mínimo de fluencia no es sorprendente un fenómeno en el que la viscosidad decrece en medio de partículas finas, debido a que la disposición de empaque de sólidos suspendidos y las cantidades crecientes de grasa no unida en el chocolate hace posible que las partículas se deslicen unas sobre otras con facilidad durante el movimiento”. Autores como Saputro *et al.* (2019) explican que la viscosidad de Casson tiende a aumentar a medida que aumenta el tiempo de molienda. Sin embargo, la viscosidad de Casson, que se refiere a la fricción interna durante el flujo, no solo está influenciada por el tamaño de partícula de las partículas sólidas, la concentración de lecitina, el nivel de humedad y el contenido de grasa, sino también por la fracción de volumen máximo (Afoakwa, 2010; Beckett, 2009). Es decir, que conforme se realice el refinado a través del tiempo las partículas pequeñas llenan los vacíos entre las grandes, y se reduce la cantidad de grasa necesaria para llenar los huecos vacíos (Do, Hargreaves, Wolf, Hort, y Mitchell, 2007). En esta condición, se produce un aumento en la fracción de volumen (número de partículas que pueden empaquetarse en un volumen dado). Por lo tanto, habrá más grasa disponible para el flujo, reduciendo la viscosidad de Casson hasta cierto punto. A las siguientes dos horas, el esfuerzo mínimo de fluencia se mantiene; sin embargo, a las 16 horas, vuelve a ascender hasta 16,33 Pa, no presentando diferencias significativas con el siguiente tiempo de 20 horas. Por lo que según el análisis VNSC, se consideró como tiempo óptimo de refinado-conchado del segundo lote a las 16 horas de operación. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de esfuerzo mínimo de fluencia a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 2 se muestran en el Anexo 21.

El comportamiento del esfuerzo mínimo de fluencia de las muestras de chocolate durante el refinado-conchado del Lote 3 pueden observarse en la Figura 27. El comportamiento también es descrito por una función polinómica de segundo grado ($p \leq 0,05$, $r^2=0,98$, $EEE=0,883$). La ecuación es la siguiente:

$$\tau_{CA}(\text{Pa}) = 5,9948 + 1,98479 * \theta_{RC} - 0,0590084 * \theta_{RC}^2 \quad (18)$$

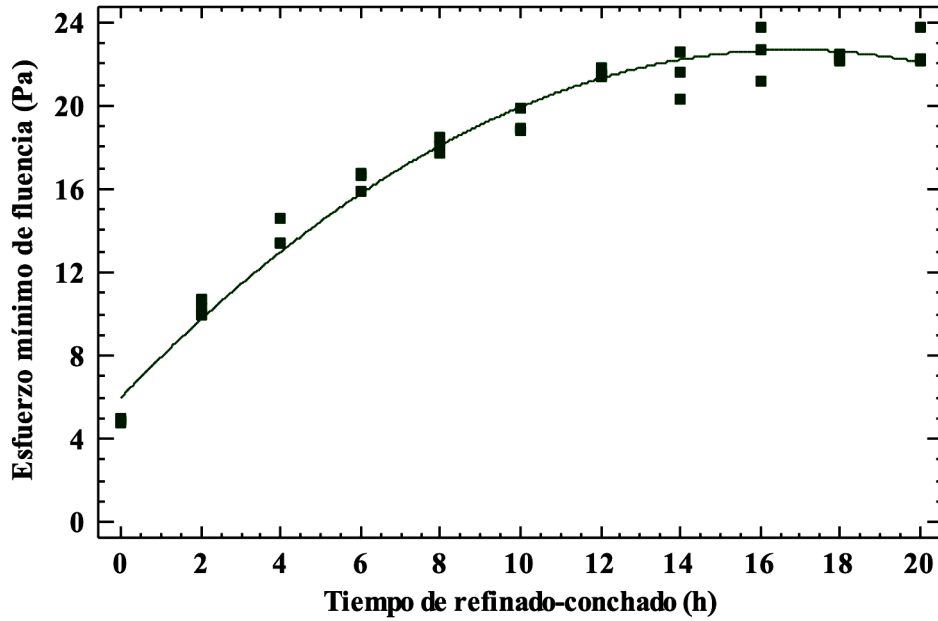


Figura 27: Esfuerzo mínimo de fluencia con respecto al tiempo de proceso (Lote 3)

La Figura 27 muestra que según el análisis VNSC, se consideró como tiempo óptimo de refinado-conchado del tercer lote a las 16 horas de operación, y se alcanzó un esfuerzo mínimo de fluencia igual a 22,57 Pa. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de esfuerzo mínimo de fluencia a diferentes tiempos de refinado-conchado del Lote 3 se muestran en el Anexo 22.

Al analizar los datos del esfuerzo mínimo de fluencia de los tres lotes juntos (Figura 28) por DBCA, se encontró que existen diferencias significativas entre los bloques (lotes). Para esta propiedad, se encontró que la función matemática que relacionó de mejor manera el comportamiento del esfuerzo mínimo de fluencia de todos los lotes juntos, a través del tiempo fue una función Logaritmo de Y-raíz cuadrada de X ($p \leq 0,05$; $r^2 = 0,83$, $EEE = 0,189$). La ecuación es la siguiente:

$$\tau_{CA}(\text{Pa}) = e^{1,66864 + 0,318829 \cdot \sqrt{\theta_{RC}}} \quad (19)$$

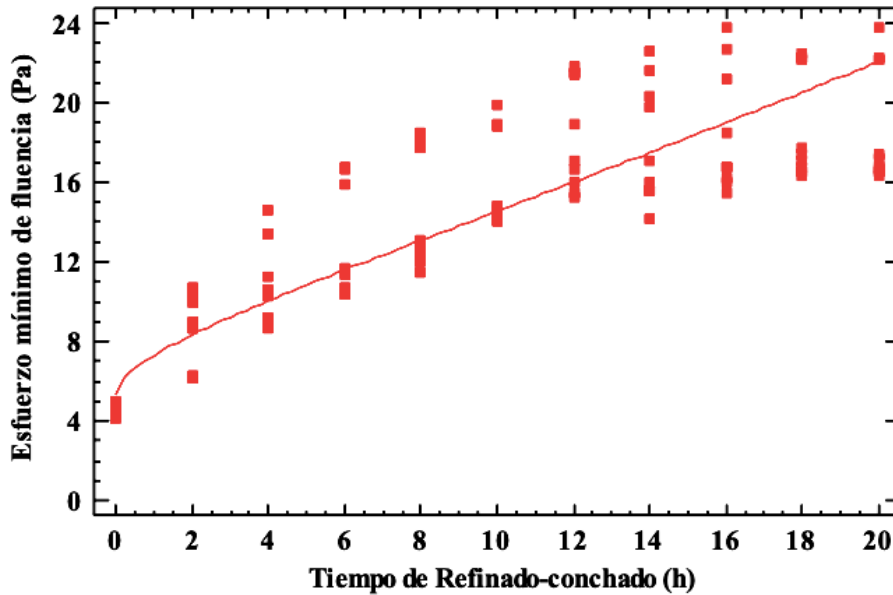


Figura 28: Esfuerzo mínimo de fluencia con respecto al tiempo de proceso (Lotes 1, 2 y 3)

Luego del análisis VNSC se determinó el tiempo a partir del cual el esfuerzo mínimo de fluencia no presenta diferencias significativas ($p \leq 0,05$), encontrándose que el tiempo óptimo es de 12 horas. Los tiempos que siguieron a continuación presentaban valores que no variaron significativamente. El rango de valores de esfuerzo mínimo de fluencia correspondiente a la última zona asintótica está comprendido entre 18,08 y 19,01 Pa. Los resultados de las pruebas de comparación entre los valores de esfuerzo mínimo de fluencia a diferentes tiempos de refinado-conchado de los tres lotes juntos se muestran en el Anexo 19. En la Tabla 16, pueden observarse los diferentes tiempos óptimos en cuanto a la propiedad “Esfuerzo mínimo de fluencia” para cada lote de producción de la empresa. Como puede observarse en la Tabla 16, el tiempo óptimo final elegido tomando en cuenta los tres lotes en estudio, determinado con los valores de esfuerzo mínimo de fluencia, fue el más prologado de ellos, es decir, de 16 horas.

Tabla 16: Tiempo óptimo de refinado-conchado según esfuerzo mínimo de fluencia

Lote	Tiempo óptimo de refinado-conchado
1	12
2	16
3	16
1,2,3	16

Según los resultados de la presente investigación, los valores de esfuerzo mínimo de fluencia de Casson estuvieron dentro del rango informado para chocolate negro, es decir, 4-32 Pa (Aeschlimann y Beckett, 2000; citado por Aidoo *et al.*, 2014). Pontillon (1988) menciona que si se habla de rangos de aceptabilidad para el límite de flujo Casson tendría que estar en el rango de 5 a 10 Pa. Asimismo, se ha reportado que a 40 °C, el esfuerzo mínimo de fluencia del chocolate oscuro al 60 por ciento de cacao fue de 10,62 Pa y para cobertura al 70 por ciento de cacao un valor de 5,10 Pa, valor significativamente menor a lo reportado en la presente investigación (Fernandes *et al.*, 2013). Caso contrario con Glicerina *et al.* (2013), quienes reportaron valores mayores iguales a: 38,77 Pa, para el chocolate resultado del proceso de refinado y conchado, y para el último proceso de fabricación (temperado) el valor fue de 33,07 Pa. Ashkezary *et al.* (2018), evaluaron parámetros reológicos para chocolate al 70 por ciento de cacao con diferentes emulsificantes (PGPR, Citrem y Lecitina de soya), y encontraron que los valores de esfuerzo mínimo de fluencia de Casson oscilaron entre 10,23 y 66,09 Pa. Estas diferencias resaltantes en las propiedades de flujo con respecto a estos autores puede atribuirse a varios factores: cantidad de grasa, si en su formulación incluye emulsificantes (Sokmen y Gunes, 2006; Beckett, 2009), o incluso al tipo de maquinaria utilizada, ya que Hinneh *et al.* (2019), encontraron que, a diferencia del refinador de tres rodillos, la capacidad del molino refinador de piedras cilíndricas, de cubrir suficientemente la mayoría de las superficies de azúcar recién formadas con la grasa extra, juega un papel adicional en la reducción de la viscosidad al mantener las partículas hidrofílicas de azúcar más separadas, es decir, la geometría del equipo de refinación tiene influencia sobre la viscosidad plástica del producto. En este trabajo se utilizó una refinadora/conchadora de aspas (UNIVERSAL®).

Al igual que la viscosidad plástica, el esfuerzo mínimo de fluencia también aumentó significativamente al aumentar el tiempo de refinación. Dicho incremento se atribuye a las diferencias en las distribuciones de tamaño de partícula pues a medida que aumenta la disposición de empaque debido a la menor cantidad de partículas gruesas y a la mayor área de superficie específica, en otras palabras, el esfuerzo mínimo de fluencia muestra una dependencia lineal del área de superficie específica, pues al disminuir el tamaño de partícula, hay más partículas para el contacto intermolecular, por lo que aumenta el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson (Bolenz y Manske, 2013) y, por ende, es mayor la cantidad de energía necesaria para inducir el flujo. Cabe mencionar que las interacciones partícula-partícula que influyen en el comportamiento del flujo de chocolate (Saputro *et al.*, 2017); se dan en mayor

cantidad cuando el número de partículas es alto y el tamaño de partículas es bajo. Ashkezary *et al.* (2018), encontraron que en todas las muestras, al aumentar el tiempo de refinación y reducir el tamaño de las partículas, aumentó el esfuerzo mínimo de fluencia. Prentice (1984), citado por Ashkezary *et al.* (2018), reportó que cuando el tamaño de partícula disminuye, las interacciones y las constantes de fricción subsiguientes entre las partículas aumentan, por lo tanto, el esfuerzo mínimo de fluencia de Casson aumenta. De Clercq *et al.* (2012), también corrobora que los parámetros reológicos y la distribución del tamaño de partículas están altamente relacionados. Es importante mencionar que el efecto de la disminución del tamaño de partícula en el esfuerzo mínimo de fluencia es mayor que en la viscosidad.

Para poder seleccionar al tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate oscuro, basado en las propiedades físicas evaluadas: tamaño de partícula (por los dos métodos), viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia, se prefirió a la última de ellas debido a que es más sensible y muestra mejor el efecto que tiene la disminución del tamaño de partícula así como su aplicación en la Industria del chocolate, podría resultar en un parámetro valioso en el control de calidad de los lotes producidos a mediana o gran escala. Cabe resaltar que las ecuaciones mostradas en el presente trabajo son el resultado de regresiones a las que mejor se ajustaron los datos. Bajo esta premisa y según los resultados del Lote 1, Lote 2 y Lote 3, que obtuvieron diferentes tiempos óptimos recurrentes para cada propiedad física: 12 y 16 h, además de asegurar siempre un valor que no difiera significativamente del tiempo convencional, se optó por elegir como tiempo a las 16 h de refinado-conchado.

Al comparar los resultados del tamaño de partícula (por ambos métodos) a través del tiempo de refinado-conchado, se ha encontrado aplicando el método de análisis dinámico de imagen un tiempo óptimo de 16 horas, que coincidentemente es el mismo tiempo obtenido por la propiedad física reológica elegida (esfuerzo mínimo de fluencia), lo puede significar que la medición del tamaño de partícula en pastas de chocolate del equipo de análisis dinámico de imagen detecta de mejor manera los cambios producidos a través del tiempo, y se propone como metodología rápida de control de calidad en laboratorio.

4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL DE CHOCOLATE REFINADO-CONCHADO

A fin de comparar y determinar las características sensoriales del chocolate refinado-conchado por 12 h (el menor tiempo óptimo determinado a partir del tamaño de partícula con el método de análisis dinámico de imagen) con respecto del tiempo de 20 h. Se realizaron pruebas discriminativas y descriptivas cuantitativas del perfil.

4.5.1. PRUEBA DE COMPARACIÓN PAREADA SIMPLE

Los jueces evaluaron las muestras provenientes de los dos tratamientos descritos líneas arriba (tres repeticiones), y se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 17.

Tabla 17: Resultados de la comparación pareada simple entre la muestra de tiempo optimizado con respecto a la muestra de tiempo convencional

Tratamiento	Respuestas/Juicios	
	Si hay diferencia	No hay diferencia
12 h con respecto a 20 h	21	0

Se obtuvo como número de ensayos un total de 21 degustaciones a un nivel de probabilidad de 0,05, el número mínimo de juicios para que exista diferencia significativa es de 15, si embargo, como se puede observar en la Tabla 17, se obtuvo un total de 21 juicios que indicaron que existía diferencia, por lo que se concluyó que existió diferencia significativa entre las dos muestras.

4.5.2. PRUEBA DE COMPARACIÓN PAREADA DIRECCIONADA

En lo que respecta a los resultados de la prueba de comparación pareada direccionada (arenosidad) se obtuvo lo siguiente:

Tabla 18: Resultados de la comparación pareada direccionada entre la muestra refinada-conchada por 12 h con respecto a la muestra de tiempo convencional (20 h)

Tratamiento	Prefieren	No prefieren
12 h	14	7
20 h	7	14

Para la obtención de los resultados, se realizó una calibración al grupo de jueces (del curso de “Formación de catadores de cacao y chocolate” de 72 horas lectivas), en donde se realizaron pruebas con chocolates de la misma composición y origen, pero a diferentes tiempos de refinado-conchado, a fin de que familiarizar a los jueces con la metodología sensorial específica (arenosidad), incrementar la habilidad individual y grupal, y mejorar la sensibilidad y memoria sensorial (Costell y Durán, 1981).

De la misma manera, el número mínimo de juicios para que exista diferencia significativa sería de 15, pero como se puede observar en la Tabla 18, para la muestra de chocolate refinado-conchado por 12 h se obtuvo un total de 14 juicios a favor, por lo que se concluyó que ambas muestras tienen el mismo nivel de agrado/aceptabilidad sin ser iguales entre sí (Lawless y Heymann, 1999).

4.5.3. PRUEBA DESCRIPTIVA CUANTITATIVA (QDA)

En la Tabla 19, se presentan los resultados obtenidos de esta prueba, en la cual se le realizó una calificación a las muestras que se procesaron (refinado-conchado) durante 12 h y 20 h.

Tabla 19: Resultados de la prueba descriptiva cuantitativa (QDA)

Atributos ó descriptores	12 horas	20 horas
Cacao	4,71 ± 0,73 ^a	4,43 ± 0,88 ^a
Ácido	2,33 ± 0,82 ^a	2,14 ± 0,79 ^a
Astringente	1,95 ± 0,73 ^a	1,71 ± 0,87 ^a
Amargo	1,95 ± 0,52 ^a	1,76 ± 0,66 ^a
Floral	1,19 ± 0,26 ^a	1,33 ± 0,72 ^a
Frutal	2,52 ± 0,66 ^a	2,90 ± 0,81 ^a
Nuez	2,00 ± 0,69 ^a	2,33 ± 0,65 ^a
Dulce	3,62 ± 0,49 ^a	3,95 ± 0,85 ^a
Impresión global	5,10 ± 0,94 ^a	5,14 ± 1,59 ^a

En la Figura 29 se observa que se destaca una predominancia elevada del sabor/aroma a cacao, y sabor dulce, en ambos tratamientos. En cuanto al sabor a cacao, se obtuvieron puntajes de 4,71 ± 0,73 y 4,43 ± 0,88 para 12 h y 20 h, respectivamente. Este descriptor

describe el típico aroma a granos bien fermentados, tostados o libre de defectos, el sabor/aroma se asocia a barras de chocolate cacao fermentado/tostado, según Seguíne y Sukha (2015). Cabe mencionar que Beckett (2009), afirma que un excesivo conchado produce un chocolate sin el característico olor a cacao del chocolate debido a que, durante el conchado, así como se volatilizan compuestos indeseables también se eliminan estos olores característicos deseables. La acción combinada de la endopeptidasa aspártica y serina carboxi-(exo) peptidasa produce precursores específicos de cacao (De Bertorelli *et al.*, 2006). La leucina y la glucosa, en conjunto, producen aromas que se describen como “chocolate dulce”, la treonina, la glutamina y la glucosa producen notas de “chocolate” cuando se calienta a 100 °C (Dimick y Hoskin, 1999).

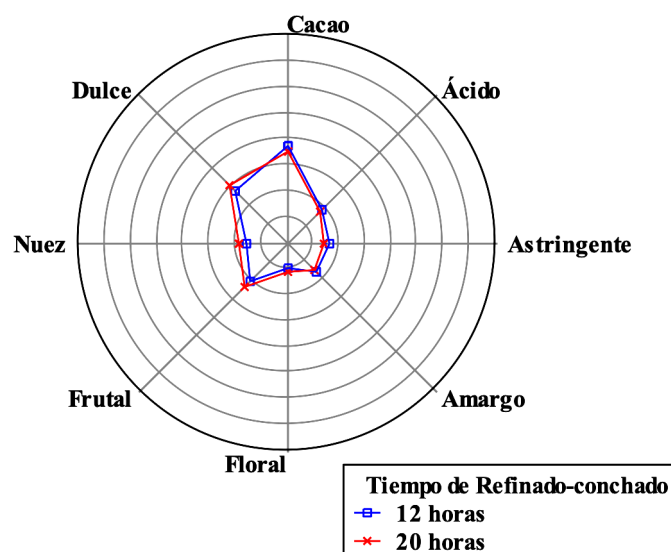


Figura 29: Resumen de los perfiles sensoriales del chocolate a 12 y 20 h de refinado-conchado

Dicho descriptor, fue más predominante en el chocolate de tiempo optimizado. El cacao con el que se elaboró el chocolate oscuro al 60 por ciento, fue el cacao blanco de piura, el mismo que fue estudiado por Michel (2019) quien encontró sabores relevantes en este tipo de chocolates frente a otra región en cuanto al sabor dulce etéreo y sabor afrutado, cacao tostado y a nueces.

Ardhana y Fleet (2003), mencionan que luego del sabor a cacao, el ácido, amargo y astringente son otros sabores básicos del perfil sensorial de la pasta de cacao, además el perfil puede incluir notas aromáticas complementarias como floral, frutal, nuez, malta, etc., que enriquecen las características sensoriales de los cacaos finos de aroma.

En cuanto al descriptor de acidez, las calificaciones obtenidas muestran que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo $2,33 \pm 0,82$ y $2,14 \pm 0,79$ para 12 h y 20 h, respectivamente. Es decir, el descriptor se percibe presente en las muestras, sin embargo, debería percibirse más en la muestra con menor tiempo de refinado-conchado debido a que la acidez acética disminuye conforme se mezcla y airea, por la volatilización del ácido acético. Esto también es afirmado por Jácome (2015), quien encontró un descenso significativo en la percepción de acidez del chocolate negro, con el incremento de tiempo y la velocidad de conchado. En cuanto al descriptor de amargor, se obtuvieron puntajes que no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Según Beckett (2009), un chocolate conchado tiene reducido el amargor debido a que se da paso a otros matices de sabor que quedan más pronunciados. Menciona que podría definirse a un chocolate conchado como madurado, al compararse con uno no conchado. Jácome (2015) menciona que el ácido acético se forma en la fermentación y disminuye en el proceso de conchado haciendo más suave y menos amargo el chocolate.

La astringencia resulta de la reacción de la precipitación de las proteínas de la saliva con los polifenoles (procianidinas o taninos), en este caso, del chocolate (Jöbstl, O'Connell, Fairclough y Williamson, 2004). Los puntajes para el descriptor de astringencia no presentaron diferencias significativas entre ambos tratamientos. Se obtuvieron puntajes de $1,95 \pm 0,73$ y $1,71 \pm 0,87$ para 12 h y 20 h, respectivamente. Dichos puntajes indican que el descriptor se percibe como una traza y puede no ser detectado si se prueba de nuevo. Asimismo, se esperaría que la astringencia pueda percibirse en mayor proporción en un chocolate que ha sido refinado-conchado por un corto tiempo. Acevedo *et al.* (2017), realizó un estudio del efecto que tiene la temperatura del conchado sobre los polifenoles, y menciona que el contenido de polifenoles es una variable que puede afectar el perfil sensorial del chocolate ya que está relacionado con propiedades sensoriales de la semilla como astringencia, aroma, acidez, amargor y presencia de alcaloides como la teobromina (Cadena y Herrera, 2008).

Para los descriptores de notas aromáticas complementarias como: floral, frutal, dulce y nuez tampoco se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$). El descriptor floral obtuvo un puntaje de $1,19 \pm 0,26$ y $1,33 \pm 0,72$ para el chocolate refinado-conchado a 12 y 20 h, respectivamente. Dicho descriptor tuvo una percepción ausente/de baja intensidad, común en cacao del oeste de África. Caso contrario fue reportado por Mejía *et al.* (2017), quienes

realizaron un estudio del perfil sensorial de chocolates oscuro elaborado con cacao de diferentes regiones del Perú: Piura, San Martín, Amazonas y Cusco, y encontraron que el chocolate de origen Piura presentó notas florales percibidas por los jueces como herbales. El descriptor frutal obtuvo un puntaje de $2,52 \pm 0,66$ y $2,90 \pm 0,81$ para el chocolate refinado-conchado a 12 y 20 h, respectivamente. En cuanto al sabor “dulce” se obtuvieron puntajes de $3,62 \pm 0,49$ y $3,95 \pm 0,85$ para 12 h y 20 h, respectivamente. Se apreció que este descriptor fue uno de los que obtuvo mayor puntaje en ambos tratamientos, siendo consideradas las muestras de intensidad media, similar a los de origen Venezolano (Seguine y Sukha, 2015). Este descriptor describe chocolates con sabores características al jugo de caña caramelizada no refinada (panela), se asocia al caramelo, azúcar rubia y fudge, se observó que se tuvo una ligera pero mayor predominancia en el tratamiento de tiempo optimizado. El descriptor de nuez obtuvo un puntaje de $2,00 \pm 0,69$ y $2,33 \pm 0,65$ para el chocolate refinado-conchado a 12 y 20 h, respectivamente. Seguine y Sukha (2015), afirman que este descriptor frecuentemente deja sólo un rastro o leve nota. Este descriptor presente en el chocolate se atribuye al piruvaldehído y la valina (Stark, Bareuther y Hofmann, 2005).

En cuanto a la impresión global del producto, los resultados estuvieron calificados con 5 a 6 puntos, no encontrándose diferencias significativas entre los tratamietos. Se pudo recoger algunos comentarios de los jueces, quienes informaron que sentían una sensación untuosa en boca a las 20 horas de refinado. Prawira y Barringer (2008), afirma que el chocolate conchado a mayor tiempo desarrolla una textura más suave; que va de la mano con una sensación bucal grasosa o untuosa, y se relaciona con su tamaño de partícula de menos de 2 mm, puesto que la grasa cubre las partículas sólidas en el chocolate (Liang y Hartel, 2004). Con estas pruebas se pudo determinar que entre el tratamiento de 12 horas con respecto del de 20 horas, el panel entrenado no determinó diferencias significativas ($p \leq 0,05$), bajo esta premisa, a las 16 h tampoco se detectarían las mismas.

4.6. VALIDACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CHOCOLATE OBTENIDO CON EL TIEMPO ÓPTIMO DE REFINADO-CONCHADO

En la Tabla 20, se determinó el porcentaje de validación promedio del proceso optimizado, es decir, a las 16 horas (91,20 por ciento) a partir de las propiedades físicas (tamaño de partícula, por los dos métodos, viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia) de la cobertura de chocolate obtenida. Se presentan los resultados obtenidos de mediciones a dos nuevos lotes

de la cobertura al 60 por ciento de cacao. Cabe mencionar que dicho porcentaje se obtuvo de la Ecuación (3), en la que se tomaron los valores esperados a partir de los datos de los primeros lotes extraídos y los valores experimentales a partir de las propiedades físicas de los dos nuevos lotes extraídos (Anexo 42). El cálculo de dicho porcentaje se puede observar en el Anexo 43.

Tabla 20: Porcentajes de validación de propiedades físicas

Propiedad física	Porcentaje de Validación (%)
Tamaño de partícula (μm)	88,82
D ₉₀	90,67
Viscosidad plástica (η_{CA})	94,52
Esfuerzo mínimo de fluencia (τ_{CA})	90,78
Promedio	91,20

En la Tabla 21, se muestra la composición proximal del producto obtenido con el proceso de refinado-conchado con respecto del producto obtenido convencionalmente (proximal).

Tabla 21: Resultados del análisis proximal del chocolate oscuro obtenido

Composición en (g/100 g)	Ficha técnica*	Con tiempo óptimo
Valor energético	578,0 kcal 2418,0 kj	583,7 \pm 2,9 kcal 2442,2 \pm 12,3 kj
Humedad	< 2,0	1,59 \pm 0,04
Proteína cruda	7,70	7,31 \pm 0,04
Carbohidratos totales	51,40	53,44 \pm 0,21
De los cuales azúcares	37,40	39,8 ^a
Grasa cruda	37,90	37,38 \pm 0,18
De las cuales saturadas	24,80	23,14 ^b
Fibra cruda	5,70	1,81 \pm 0,04
Sodio	0,14 g	-

(*) Datos de la Ficha técnica de THEOBROMA INVERSIONES S.A.C

(a) Estimado: Referencia de azúcar en cacao igual 1,57 por ciento (Chire, 2019) y según fórmula del producto, el azúcar añadida es igual a 39 por ciento.

(b) Estimado: Referencia de Ácidos grasos saturados (AGS) en la fracción lipídica del chocolate oscuro al 70 por ciento igual a 61,90 por ciento (Chire, 2019)

De acuerdo a lo indicado por la Tabla 21, la humedad del chocolate obtenido con el tiempo óptimo de refinado-conchado es de $1,59 \pm 0,04$ por ciento, como se puede observar este valor se encuentra dentro de las especificaciones exigidas por Theobroma Inversiones S.A.C (<2 por ciento), además de esto. El contenido de proteína cruda ($7,31 \pm 0,04$ g/100 g), fue similar a lo que reporta la empresa (7,7 g/100 g). En lo que contenido graso respecta, se obtuvo en el presente análisis un valor de $37,38 \pm 0,18$ gramos por cada 100 gramos de chocolate, el cual no difiere significativamente del valor que reporta la empresa en su etiqueta (37,9 g/100 g). Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el contenido de fibra del chocolate, puesto que la Empresa reporta un valor de 5,7 g/ 100 g, mientras que en el presente trabajo se determinó $1,81 \pm 0,04$ g/ 100 g. En términos generales, se pudo corroborar que no existen diferencias entre el valor nutricional de la cobertura de chocolate que se está comercializando actualmente y la obtenida con el tiempo óptimo de refinado-conchado.

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó que el tiempo óptimo de refinado-conchado de chocolate tipo cobertura al 60 por ciento de cacao es a las 16 horas de iniciado el proceso, al reducir en 4 horas el tiempo que actualmente la empresa aplica.
2. La composición proximal de los granos y nibs de cacao (cacao blanco de Piura) mostró un contenido de humedad (b.h) de $5,22 \pm 0,01$ y $3,37 \pm 0,01$ por ciento; proteína cruda (b.s) de $13,44 \pm 0,06$ y $13,22 \pm 0,06$ por ciento; grasa cruda (b.s) de $55,56 \pm 0,10$ y $59,02 \pm 0,10$ por ciento; ceniza (b.s) de $3,29 \pm 0,01$ y $3,65 \pm 0,11$ por ciento y carbohidratos totales (b.s) de $27,71 \pm 0,17$ y $24,11 \pm 0,07$ por ciento; respectivamente.
3. La composición proximal del chocolate al inicio (0h) y al final (20h) del refinado-conchado, mostró que el contenido de humedad (b.h) fue de $1,94 \pm 0,03$ y $1,50 \pm 0,07$ por ciento; proteína cruda (b.s) de $9,43 \pm 0,07$ y $7,40 \pm 0,48$ por ciento; grasa cruda (b.s) de $37,45 \pm 0,18$ y $36,42 \pm 0,14$ por ciento; fibra cruda (b.s) de $1,84 \pm 0,02$ y $1,81 \pm 0,03$ por ciento; ceniza (b.s) de $1,88 \pm 0,01$ y $1,87 \pm 0,02$ por ciento y carbohidratos totales (b.s) de $51,23 \pm 0,17$ y $54,32 \pm 0,47$ por ciento; respectivamente.
4. Durante las 20 horas de refinado-conchado, se encontró que el tamaño de partícula disminuyó de 274,11 hasta 21,67 μm (por micrómetro) y de 164,19 hasta 59,43 μm (por análisis dinámico de imagen) respectivamente. La viscosidad plástica se incrementó de 2,32 hasta 3,10 Pa.s y el esfuerzo mínimo de fluencia también se incrementó de 4,57 hasta 19,46 Pa.

5. La composición proximal del chocolate tipo cobertura obtenido con el proceso optimizado, mostró un contenido de humedad (b.h) de $1,59 \pm 0,04$ por ciento; proteína cruda de $7,31 \pm 0,04$ por ciento; grasa cruda de $37,38 \pm 0,18$ por ciento; fibra cruda de $1,81 \pm 0,04$ por ciento; ceniza de $1,87 \pm 0,02$ por ciento; y carbohidratos totales de $53,44 \pm 0,21$ por ciento. Asimismo, se determinó el tamaño de partícula y se determinó que el TP por m.micrómetro fue $25,83 \pm 0,98$ um y por el m.análisis de imagen fue de $72,90 \pm 4,61$ um. En cuanto a la viscosidad plástica se obtuvo un valor de $3,09 \pm 0,12$ Pa.s y un esfuerzo mínimo de fluencia de $17,78 \pm 0,24$ Pa. Asimismo, no se encontraron diferencias significativas a nivel sensorial entre el chocolate elaborado con el proceso convencional y el proceso optimizado.

VI. RECOMENDACIONES

- Aplicar la metodología VNSC en el refinado-conchado de los demás productos de la empresa, como barras de chocolate fino de aroma de diferentes orígenes y porcentajes de cacao.
- Aplicar la metodología VNSC en el conchado de chocolate oscuro y de leche, realizado en otro tipo de máquina exclusiva para esta operación, otra temperatura de operación, otros ingredientes (adición de emulsificantes).
- Determinar el consumo energético (kWh) del proceso convencional de refinado-conchado versus el proceso optimizado.
- Realizar mediciones de propiedades físicas (tamaño de partícula, viscosidad plástica y esfuerzo mínimo de fluencia) en intervalos de tiempo menores, de manera que se pueda determinar con mayor exactitud el tiempo óptimo de refinado-conchado.
- Aplicar el método de análisis dinámico de imagen para el control de calidad en la fabricación de chocolate.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, L.; Mejía, D.; Acosta, E.; Valencia, W.; Penagos, L. (2017). Efecto de la temperatura del conchado sobre los polifenoles en un chocolate semi-amargo. *Revista de la Asociación de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25(41): 31-50.
- ADM Cocoa International. (2009). *Cocoa and Chocolate Manual*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/91709784/DeZaan-Cocoa-Manual>
- Afoakwa, E.; Paterson, A.; Fowler, M. (2007). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate: A Review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(6): 290-298. doi:10.1016/j.tifs.2007.02.002
- Afoakwa, E.; Paterson, A.; Fowler, M. (2008a). Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *European Food Research and Technology*, 226(6):1259-1268. doi: 10.1007/s00217-007-0652-6
- Afoakwa, E.; Paterson, A.; Fowler, M.; Vieira, J. (2008b). Particle size distribution and compositional effects on textural properties and appearance of dark chocolates. *Journal of Food Engineering*, 87 (2): 181-190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.025>
- Afoakwa, E.; Paterson, A.; Fowler, M.; Vieira, J. (2009). Comparison of rheological models for determining dark chocolate Viscosity. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 162-167. doi: 10.1111/j.1365-2621.2008.01710.x
- Afoakwa, E. (2010). *Chocolate Science and Technology*. Oxford, United Kingdom. Wiley-Blackwell.

- Agus, B.; Nadzirah, M.; Hussain, N. (2018). Composition of unfermented, unroasted, roasted cocoa beans and cocoa shells from Peninsular Malaysia. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4): 2581-2589. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9875-4>
- Aidoo, R.; De Clercq, N.; Afoakwa, E.; Dewettinck, K. (2014). Optimization of processing conditions and rheological properties using Stephan mixer as conche in small-scale chocolate processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 49: 740-746. doi: 10.1111/ijfs.12360
- Alamprese, C.; Datei, L.; Semeraro, Q. (2007). Optimization of processing parameters of a ball mill refiner for chocolate. *Journal of Food Engineering*, 83(4): 629-636. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.04.014
- Álvarez, C.; Pérez, E.; Lares, M. (2007). Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua. *Agronomía tropical*, 57(4):249-256. Recuperado de: https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/CARACTERIZACIÓN_FÍSICA_Y_QUÍMICA_DE_ALMENDRAS_DE_CACAO.....pdf
- AMETEK Brookfield. (2017). More solutions to Sticky problems: A guide to getting more from your Brookfield Viscosimeter & Rheometer. Recuperado de: <https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/tech%20sheets/more%20solutions%202017.pdf?la=en>
- Aprotosoai, A., Luca, S., & Miron, A. (2016). Flavor chemistry of cocoa and cocoa products- an overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 73-91. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
- Arevalo-Gardini, E.; Meinhardt, L.; Zuñiga, L.; Arévalo-Gardini, J.; Motilal, L.; Zhang, D. (2019). Genetic identity and origin of “Piura Porcelana”- a fine flavored traditional

variety of cacao (*Theobroma cacao*) from Peruvian Amazon. *Tree Genetics & Genomes*, 15: 1-11. doi: <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1316-y>

Ashkezary, M.; Yeganehzad, S.; Vatankhah, H.; Todaro, A.; Maghsoudlou, Y. (2018). Effects of different emulsifiers and refining time on rheological and textural characteristics of compound chocolate. *Italian Journal of Food Science*, 30(1): 26-36. doi: 10.14674/IJFS-759

Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2016). *Official Methods of Analysis of Association of AOAC International. Cocoa beans and its products*. Maryland, USA: William Horwitz and George W. Latimer, Jr.

Ardhana, M. & Fleet, G. (2003). The microbial ecology of cocoa bean fermentation in Indonesia. *International Journal of Food Microbiology*, 86(1-2): 87-99. doi: 10.1016/S0168-1605(03)00081-3

Awua, P.K. (2002). *The Success story of cocoa processing and chocolate manufacture in Ghana*. Essex, U.K.: David Jamieson & Associates Ltd.

Banerjee, D.; Janaki, M.S.; Chakrabarti, N.; Chaudhuri, M. (2010). Viscosity gradient-driven instability of 'shear mode' in a strongly coupled plasma. *New Journal of Physics*, 12: 1-9. doi: 10.1088/1367-2630/12/12/123031

Beckett, S.T. (2008). *The Science of Chocolate*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.

Beckett, S.T. (2009). *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. York, UK: Blackwell Publishing Ltd.

Bobadilla, G.; Ruiz, C.; Rojas, R. (2017). Chemical-nutritional profile and antioxidant activity of the couverture chocolate of the Peruvian chocolate factory La Ibérica". *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*, Lima, Peru, 13-17 November 2017.

- Bolenz, S.; Thiessenhusen, T.; Schape, R. (2003). Fast conching for milk chocolate. *European Food Research and Technology*, 218, 62-67.
- Bolenz, S. & Manske, A. (2013). Impact of fat content during grinding on particle size distribution and flow properties of milk chocolate. *European Food Research and Technology*, 236(5): 863-872. doi: 10.1007/s00217-013-1944-7
- Bolenz, S.; Manske, A.; Langer, M. (2014). Improvement of process parameters and evaluation of milk chocolates made by the new coarse conching process. *European Food Research and Technology*, 238(5):863-874. doi: 10.1007/s00217-014-2165-4
- Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concepts and Measurements*. Recuperado de: <https://www.elsevier.com/books/food-texture-and-viscosity/bourne/978-0-12-119062-0>
- Cadena, T. & Herrera, Y. (2008). Evaluación del efecto de procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su actividad antioxidante (Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander). Recuperado de: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/128865.pdf>
- Chevalley, J. (1991). An adaptation of the casson equation for the rheology of chocolate. *Journal of texture studies*, 22(2): 219-229. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1991.tb00015.x>
- Chevalley, J. (1999). Chocolate Flow Properties. En S.T. Beckett (Ed.), *Industrial chocolate manufacture and use* (p.182-200). Oxford, UK: Blackwell Science.
- Chessman, E.E. (1944). Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations. *Tropical Agriculture*, 21:144-159.
- Chichester, C.; Mrak, E.; Schweigert, B. (1977). *Advances in food research*. Recuperado de: <https://www.elsevier.com/books/advances-in-food-research/chichester/978-0-12-016423-3>

- Chire, G. & Hartel, R. (2011). Efecto de diferentes emulsificantes en las propiedades reológicas y la efluencia grasa del chocolate oscuro. *Anales científicos UNALM*, 72(1):1-12. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v72i1.852>
- Chire, G. (2019). Mejora de propiedades físicas y su efecto en el contenido de ácidos grasos en chocolate peruano aplicando superficie de respuesta (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.
- Chire, G.; Valdivia, R.; Orihuela, C.; Ureña, M. (2017). Assesment of physical and physicochemical quality of main chocolates traded in Peru. *Acta Agronómica*, 66(2): 164-171. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v66n2.53779>
- Cidell, J & Alberts, H. (2006). Constructing quality: the multinational histories of chocolate. *Geoforum*, 37, 999-1007. doi: 10.1016/j.geoforum.2006.02.006
- Costell, E. & Durán, L. (1981). El Análisis Sensorial en el Control de Calidad de los Alimentos: II Planteamiento y Planificación; Selección de Pruebas. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 21(2):149-166. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=947481>
- Counet, C.; Ouwerx, C.; Rosoux, D.; Collin, S. (2004). Relationship between Procyanidin and Flavor Contents of Cocoa Liquors from Different Origins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53: 6243-6249. doi: <https://doi.org/10.1021/jf040105b>
- Dahlenborg, H.; Millqvist-Fureby, A.; Bergenståhl, B. (2015). Effect of particle size in chocolate shell on oil migration and fat bloom development. *Journal of Food Engineering*, 146: 172- 181. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.008>
- Daza, A. (2018). Cinética de efluencia grasa en dos tipos de chocolate oscuro. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.
- De Bertorelli, L.; Maldonado, H.; Parra, P.; De Fariñas, G. (2006). Caracterización electroforética de las globulinas del grano fermentado de tres tipos de cacao. *Interciencias*, 31(6): 441-445. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/46416917_Caracterizacion_electroforetica_de_las_globulinas_del_grano_fermentado_de_tres_tipos_de_cacao

- De Bruijne, D. & Bot, A. (2001). Alimentos elaborados basados en grasa. En: Rosenthal A. (Ed). Textura de los alimentos, medida y percepción. (p. 189-208). Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A.
- De Clercq, N.; Moens, K.; Depypere, F.; Vila, J.; Calliauw, G.; De Greyt, W.; Dewettinck, K. (2012). Influence of cocoa butter refining on the quality of milk chocolate. *Journal of Food Engineering*, 111: 412-419. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.01.033
- De Graef, V.; Depypere, F.; Minnaert, M.; Dewettinck, K. (2011). Chocolate yield stress as measured by oscillatory rheology. *Food Research International*, 44 (9):2660-2665. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.009>
- Dimick, P. & Hoskin, J. (1999). The Chemistry of flavor development in chocolate. En S.T. Beckett (Ed.), *Industrial chocolate manufacture and use* (p.137-152). Oxford, UK: Blackwell Science.
- Djikeng, T.; Teyomnou, W.; Tenyang, N.; Tiencheu, B.; Morfor, T.; Hako, B.; Houketchang, N.; Boungo, T.; Lakshmi, M.; Ngoufack, Z.; Womani, M. (2018). Effect of traditional and oven roasting on the physicochemical properties of fermented cocoa beans. *Heliyon*, 4:1-17. doi: 10.1016/j.heliyon.2018. e00533
- Do, T.; Hargreaves, J.; Wolf, B.; Hort, J.; Mitchell, J. (2007). Impact of particle size distribution on rheological and textural properties of chocolate models with reduced fat content. *Journal of Food Science*, 72 (9): 541-552. doi:10.1111/j.1750-3841.2007.00572.x
- Euromonitor International. (2019). Production of cocoa beans in the world in 2019. Recuperado de: <http://www.portal.euromonitor.com/portal/statisticsevolution/index>

- Fatma, Y. & Ali, T. (2017). Optimization of Dark chocolate conching time with Response Surface Methodology. *Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 3(4): 78-83. Recuperado de: <http://pearlresearchjournals.org/journals/jasft/index.html>
- Fernandes, V. (2011). Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de diferentes composiciones de chocolate oscuro (Tesis de maestría, Universidad Simón Bolívar). Recuperada de: <https://studylib.es/doc/5898646/evaluación-de-las-propiedades-reológicas-y-térmicas-de-di>
- Fernandes, V.; Müller, A.; Sandoval, A. (2013). Thermal, structural and rheological characteristics of dark chocolate with different compositions. *Journal of Food Engineering*, 116(1):97-108. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.12.002
- Fischer, A.; Abubaker, A.; Hässelbarth, A.; Ullrich, F. (2010). Understanding the impact of conching on chocolate flavour using a combination of instrumental flavour analysis and tasting techniques. *Expression of Multidisciplinary flavour Science*, 309-312. Recuperado de: <https://home.zhaw.ch/~yere/pdf/Teil79%20-%20Expression%20of%20Multidisciplinary.pdf>
- Fišteš, A. & Rakić, D. (2015). Interaction effects of milling variables on energy consumption of stirred ball mill for chocolate refining. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 19 (4): 197-201. Recuperado de: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2015/1821-44871504197F.pdf>
- Flores, N.; Chire, G.; Lescano, C. (2016). Rheological, fat bloom, and sensory acceptability effects of mango kernel fat and palm olein blends on chocolate-flavored coatings. *Acta Agronómica*, 66(4): 506-511. doi: <https://doi.org/10.15446/acag.v66n4.56219>
- García, M. (2018). Optimización de la fritura de hojuelas de papa nativa (*Solanum tuberosum* sp.) aplicando el método de superficie de respuesta (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.
- García, C.L. (2014). Catálogo de cultivares de cacao en el Perú. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú: MINAGRI, Dirección General de competitividad agraria.

- Glicerina, V.; Balestra, F.; Rosa, M.D.; Romani, S. (2013). Rheological, textural and calorimetric modifications of dark chocolate during process. *Journal of Food Engineering*, 119: 173-179. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.012>
- Glicerina, V.; Balestra, F.; Rosa, M.D.; Bergenstål, B.; Tornberg, E.; Romani, S. (2014). The influence of different processing stages on particle size, microstructure, and appearance of dark chocolate. *Journal of Food Science*, 79 (7): 1359-1365.
- Glicerina, V.; Balestra, F.; Dalla Rosa, M.; Romani, S. (2015). Effect of manufacturing process on the microstructural and rheological properties of milk chocolate. *Journal of Food Engineering*, 145: 45-50.
- Glicerina, V.; Balestra, F.; Dalla-Rosa, M.; Romani, S. (2016). Microstructural and rheological characteristics of dark, milk and white chocolate: A comparative study. *Journal of Food Engineering*, 169:165-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.011>
- Glicerina, V. & Romani, S. (2017). Advances in Food Rheology and Its Applications. Advances in Yield Stress Measurements for Chocolate. En Ahmed (Ed.), *Advances in Food Rheology and Its Applications* (p. 459-481). doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00018-8>
- Gonçalves, E. & Lannes, S. (2010). Chocolate Rheology. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(4): 845-851. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/3959/395940102002.pdf>
- Gray, M. (2008) Molding, enrobing and cooling chocolate products. En Beckett, ST., Fowler, MS. y Ziegler, GR. (Eds.), *Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use* (p. 320-357). York, United Kingdom: Wiley-Blackwell.
- Guinard, J. & Mazzucchelli, R. (1999). Effects on sugar and fat under sensory properties of milk chocolate: Descriptive analysis and instrumental measurements. *Journal of Science and Food Agriculture*, 79 (11):1331-1339. doi:

[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199908\)79:11<1331::AID-JSFA365>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199908)79:11<1331::AID-JSFA365>3.0.CO;2-4)

Harwood, M. & Hayes, J. (2017). Sensory evaluation of chocolate and cocoa products. En: Beckett, ST., Fowler, MS. & Ziegler, GR. (Eds.), *Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use*. York, United Kingdom: Wiley-Blackwell.

Herrera, J. (2005). Ahorro energético en la extracción por lixiviación del pigmento del maíz morado (*Zea mays* L.) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.

Herrera, E. (2006). Optimización del proceso de extracción de antocianinas del camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) lam.) mediante tratamiento con vapor y lixiviación con agua acidulada a temperatura ambiente (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.

Hinne, M.; Van de Walle, D.; Haecka, J.; Enorkplim, E.; De Winne, A.; Saputroa, D.; Messense, K.; ... Dewettinck, K. (2019). Applicability of the melanger for chocolate refining and Stephan mixer for T conching as small-scale alternative chocolate production techniques. *Journal of Food Engineering*, 253: 59-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.016>

Horiba Instruments. (2010). A guidebook to particle size analysis. Recuperado de: https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Documents/PSA/PSA_Guide_book.pdf

Hu, S.; Kim, B.; Baik, M. (2016). Physicochemical properties and antioxidant capacity of raw, roasted and puffed cacao beans. *Food Chemistry*, 194: 1089–1094. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.08.126

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2019). Informe técnico de Producción Nacional: Diciembre 2018. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/principales_indicadores/informe-tecnico-de-produccion-nacional-febrero2019.PDF

- International Confectionery Association (ICA). (2000). Viscosity of cocoa and chocolate products: Método analítico 46. Recuperado de: <http://caobisco.eu/caobisco-chocolate-biscuits-confectionery-europe-page-44-Analytical-methods-.html#.XXQ8Cy3SGu4>
- IESMAT. (s.f.). Maquinaria Malvern de Difracción láser. Recuperado de: <http://www.iesmat.com/iesmat/upload/file/Malvern/Productos-MAL/DIF/MAL-DIF%20Mastersizer%20Micro%20CPSA.pdf>
- Instituto Nacional de la Calidad (INACAL, 2017). Norma Técnica Peruana NTP 107.302. Cacao y chocolate: Términos y definiciones. Recuperado de: <https://www.inacal.gob.pe>
- Jácome, W. (2015). Diseño de una planta de elaboración de chocolate negro y chocolate con leche a partir de licor de cacao (Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador). Recuperada de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/12608>
- Jeffery, M. (1993). Key functional properties of sucrose in chocolate and sugar confectionery. *Food Technology*, 47(1), 141-144. Recuperado de: <https://www.tib.eu/en/search/id/ceaba%3ACEAB1993434334/Key-functional-properties-of-sucrose-in-chocolate/>
- Johansson, D. & Bergensthal, B. (1992). The influence of food emulsifiers on fat and sugar dispersions in oils. I. Adsorption, sedimentation. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 69: 705-717. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02635905>
- Jordan, O. (2016). Variación no significativa en cinética (V.N.S.C). Trabajo presentado en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Jöbstl E.; O'Connell J.; Fairclough J.; Williamson M. (2004). Molecular model for astringency produced by polyphenol/protein interactions. *Biomacromolecules*, 5: 942-949. doi: <https://doi.org/10.1021/bm0345110>

- Kalvatchev, Z.; Garzaro, D.; F Guerra, F. (1998). Theobroma cacao L: Un nuevo enfoque para la nutrición y la salud. Revista Agroalimentaria, 4(6):23-25. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3233588>
- Krysiak, W. (2011). Effects of convective and microwave roasting on the physicochemical properties of cocoa beans and cocoa butter extracted from this material. Revista de grasas y aceites, 62 (4): 467- 478. doi: 10.3989/gya.114910
- Laughter, J.; Brown, B.; Anantheswaran, R. (2012). Manufacturing chocolate for Entrepreneurial Endeavors. En: Zhao, Y. (Ed.), Production of Specialty Foods for Entrepreneurs: Processing Technology, Quality and Food Safety. New York, EEUU: CRC Press/ Taylor & Francis
- Lawless, H. & Heymann, H. (1999). Sensory evaluation of food. Maryland, EEUU: Aspen Publishers, Inc.
- Liria, M. (2008). Guía para la evaluación sensorial de alimentos. Recuperado de: <http://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2008/02/Guia-para-la-evaluacion-sensorial-de-alimentos.pdf>
- Liang, B. & Hartel, R. (2004). Effects of milk powders in milk chocolate. Journal of Dairy Science, 87(1): 20-31. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73137-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73137-9)
- Lloveras, M. (2014). Universal: Maquinaria para chocolate. Recuperado de: www.cormac.eu/savefile/15014/.../LLoveras/.../UNIVERSAL%20PDF%20Leaflet.pdf
- Loo, J. (2019). Variación de la conductividad eléctrica del medio acuoso por inmersión de granos de cacao ccn-51 con diferentes índices de fermentación (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Lucisano, M.; Casiraghi, E.; Mariotti, M. (2006). Influence of formulation and processing variables on ball mill refining of milk chocolate. European Food Research and Technology, 223(6): 797-802. doi:10.1007/s00217-006-0272-6

- Luo, P.; Morrison, I.; Dudkiewicz, A.; Tiede, K.; Boyes, E.; O'Toole, P.; Park, S.; Boxall, A.B. (2013). Visualization and characterization of engineered nano- particles in complex environmental and food matrices using atmospheric scanning electron microscopy. *Journal of Microstructure*, 250 (1), 32-41. doi: 10.1111/jmi.12014
- Machado, L.; Ordoñez, C.; Sánchez, K.; Guaca, L.; Suárez, J. (2018). Organoleptic quality assesment of *Theobroma cacao* L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia. *Acta Agronómica*, 67: 46-52. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v67n1.66572>
- Meilgaard, M.; Civille, G.; Carr, B. (2007). *Sensory evaluation techniques*. Florida, EE. UU: CRC press. Recuperado de: https://books.google.com.pe/books?id=F_A-YtWXF3gC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Mejía, R.; Ruiz, C.; Portales, R.; Rojas, R. (noviembre, 2017). Quality profile of Peruvian dark chocolate: A preliminary approach. En Brigitte Laliberté (Presidencia), Primer Simposio de Investigación de cacao. Simposio llevado a cabo en Lima, Peru.
- Michel, S. (2019). Investigación de los compuestos volátiles asociados al sabor del chocolate producido a partir del cacao “fino y de aroma” peruano (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
- Ministerio de Agricultura (MINAGRI, 2012). Manual de manejo técnico del cultivo de cacao blanco de Piura. Recuperado de: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/manual_cacao_blanco_piura.pdf
- Ministerio de Agricultura; Dirección General de Políticas Agrarias; Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria. (2016). Estudio del Cacao en el Perú y el Mundo: Un Análisis de la Producción y el Comercio. Recuperado de: <https://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2016?download=10169:estudio-del-cacao-en-el-peru-y-en-el-mundo>

- Minifie, B. (1999). *Chocolate, Cocoa and Confectionery. Science and Technology*. Maryland, USA: Aspen Publishers Inc.
- Mongia, G. & Ziegler, G. (2000). Role of particle size distribution of suspended solids in defining flow properties of milk chocolate. *International Journal of Food Properties*, 3: 137-147. doi: <https://doi.org/10.1080/10942910009524621>
- Motamayor, J.; Risterucci, A.; Lopez, P.; Ortiz, C.; Moreno, A. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89: 380-386. doi: <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Motamayor, J.; Lachenaud, P.; Wallace da Silva e Mota, J.; Loor, R.; Kuhn, D.; Brown, S.; Schnell, R. (2008). Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L). *Cacao Pops Differentiation*, 3(10):1-8. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Owusu, M.; Petersen, M.; Heimdal, H. (2012). Effect of Fermentation Method Roasting and Conching Conditions on the Aroma Volatiles of Dark Chocolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36: 446-456. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00602.x>
- Pajin, B.; Zarić, D.; Dokić, L.; Šereš, Z.; Šoronja-Simović, D.; Omorjana, R.; Lončarević, I. (2011). Influence of emulsifiers on the optimization of processing parameters of refining milk chocolate in the ball mill. *Acta periodica technologica* 42(42): 101-110. doi: 10.2298/APT1142101P
- Pajin, B.; Dokić, L.; Zarić, D.; Šoronja-Simović, D.; Lončarević, I.; Nikolić, I. (2013). Crystallization and rheological properties of soya milk chocolate produced in a ball mill. *Journal of Food Engineering*, 114: 70-74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.024>
- Pascual, V.; Valls, R.; Sola, R. (2009). Cocoa and chocolate: a heart-healthy pleasure?. *Rev. Clinica e Investigacion en Arteriosclerosis*, 21(4): 198-209. doi: 10.1016/S0214-9168(09)72047-9

- Pontillon, J. (1988). Cacao et chocolat: Production, utilisation, caracteristiques. Paris, France: Technique & Documentation Lavoisier.
- Prawira, M. & Barringer, S. (2008). Effects of conching time and ingredients on preference of milk chocolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33: 571-589. doi: 10.1111/j.1745-4549.2008.00272.x
- Ramli, N.; Hassan, O.; Said, M.; Samsudin, W.; Idris, N. (2006). Influence of roasting condition on volatile flavor of roasted Malaysian cocoa beans. *Journal of Food Chemistry*, 54: 5521-5529. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2006.00065.x>
- Rivera, J. (2018). Correlación de la porosidad con el grado de fermentación del grano de cacao peruano (*Theobroma cacao* l.) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.
- Rohm, H.; Böhme, B.; Skorka, J. (2018). The impact of grinding intensity on particle properties and rheology of dark chocolate. *LWT, Food Science and Technology*, 92:564-568. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.006>
- Romero, N. (1997). Métodos de analisis para la determinación de nitrógeno y constituyentes nitrogenados en alimentos. En FAO, Producción y manejo de datos de composicion química de alimentos en nutrición. Recuperado de: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/ah833s/AH833S08.pdf>
- Saltini, R.; Akkerman, R.; Frosch, S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29: 167-187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.054>
- Saltos, H. (2010). Sensometría Análisis en el Desarrollo de los Alimentos Procesados. Riobamba-Ecuador: Editorial Pedagógica Freire. Recuperado de: [http://biblioteca.udla.edu.ec/client/es_EC/default/search/detailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD_ILS\\$002f0\\$002fSD_ILS:11640/one?qu=Saltos+S%2C+Héctor+An%C3%ADbal&ic=true&te=ILS&ps=300](http://biblioteca.udla.edu.ec/client/es_EC/default/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:11640/one?qu=Saltos+S%2C+Héctor+An%C3%ADbal&ic=true&te=ILS&ps=300)

- Saputro, A.; Van de Walle, D.; Kadivar, S.; Mensah, M.; Van Durme, J.; Dewettinck, K. (2017). Feasibility of small-scale production system approach for palm sugar sweetened dark chocolate. *European Food Research and Technology*, 243: 955-967. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/1854/LU-8133016>
- Saputro, A.; Van de Walle, D.; Antan, B.; Hinneh, M.; Kluczykoffc, M.; 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. *Food Science and Technology*, 100: 10-19.
- Schumacher, A.; Brandelli, A; Schumacher, E.; Carrion, F.; Pieta, L.; Venzke, T.; Vogt, E. (2009). Development and evaluation of a laboratory scale conch for chocolate production. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 616-622. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01877.x>
- Seguine, E. & Sukha, D. (2015). Glossary of flavour descriptors. Cocoa of Excellence Programme. Recuperado de: <https://static1.squarespace.com/static/56680247841abadb3a819e1c/t/57f4e48b46c3c46d4a4ec45b/1475667085721/Glossary%2Bof%2BFlavour%2BDescriptors%2B%26%2BScoring.pdf>
- Serra, J. & Ventura, F. (2002). Factors affecting the formation of alkylpyrazines during roasting treatment in natural and alkalinized cocoa powder. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(13): 3743–3750. doi:10.1021/jf011597k
- Servais, C.; Jones, R.; Roberts, I. (2002). The influence of particle distribution on the processing of food. *Journal of Food Engineering*, 51(3): 201-208. doi: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00056-5)
- Servais, C.; Ranc, H.; Roberts, I.D. (2004). Determination of chocolate viscosity. *Journal of Texture Studies*, 34(5-6):467–497. Recuperado de: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/1519989>

- Seville, J. & Yu Wu, Ch. (2016). Particle Technology and Engineering. Recuperado de: <https://www.elsevier.com/books/particle-technology-and-engineering/seville/978-0-08-098337-0>
- Sokmen, A. & Gunes, G. (2006). Influence of some bulk sweeteners on rheological properties of chocolate. *LWT, Food Science and Technology*, 39: 1053-1058. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.002>
- Stark, T.; Bareuther, S.; Hofmann, T. (2005). Sensory-guided decomposition of roasted cocoa nibs (*Theobroma cacao*) and structure determination of taste active polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 5407–5418. doi: <https://doi.org/10.1021/jf050457y>
- Tan, J. & Balasubramanian, B. (2017). Particle size measurements and scanning electron microscopy (SEM) of cocoa particles refined/conched by conical and cylindrical roller stone melangers. *Journal of Food Engineering*, 212: 146-153. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.033>
- Toker, S.; Palabiyik, I.; Konar, K. (2019). Review: Chocolate quality and conching. *Trends in Food Science & Technology*, 91: 446-453. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.047>
- Torres-Moreno, M.; Torrecasana, E.; Salas-Salvadó, J.; Blanch, C. (2015). Nutritional composition and fatty acids profile in cocoa beans and chocolates with different geographical origin and processing conditions. *Food Chemistry*, 166: 125-132. doi: [10.1016/j.foodchem.2014.05.141](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.141)
- United States Department of Agriculture (USDA, 2017). Full Report (all nutrients) of Dark Chocolate, pure dark chocolate bar, UPC: 077241012369. Recuperado de: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/45101221?fgcd=&manu=&format=&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=DARK+CHOCOLATE%2C+UPC%3A+898596001088&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>

- Ureña, M.; D'Arrigo, M.; Girón, O. (1999). Evaluación Sensorial de los Alimentos, Aplicación Didáctica. Lima, Perú: Editorial Agraria.
- Varzakas, T. & Tzia, C. (2016). Handbook of processing: Food safety, quality and manufacturing processes. Florida, EE.UU: Taylor & Francis Group. Recuperado de: https://books.google.com.pe/books?id=CXq9CgAAQBAJ&pg=PA351&lpg=PA351&dq=hoskin+1994+cacao&source=bl&ots=qS3dlqqGon&sig=ACfU3U1_R2k-rJKTEaHmts_yYtqc6Krktg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjqsI7UysTkAhWizlkKHXE5ApEQ6AEwDXoEAcQAQ#v=onepage&q=hoskin%201994%20cacao&f=false
- Vásquez, O. (2009). Informe Final de Consultoría: Plan Estratégico de Mercado para la Promoción del Consumo Interno de Derivados del Cacao Nacional. Recuperado de: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/cacao/plan_estrategico_promocion_consumo_interno_cacao.pdf
- Vision Analytical Inc. (2017). User Manual: Particle Insight (Rev.A). Florida, Estados Unidos.
- Vivar, G.; Torrestiana, B.; Monroy, J.; Brito, E. (2008). Rheological and structural changes of chocolate mass. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 104 (8): 376-382. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/287100785_Chonching_-_Rheological_and_structural_changes_of_chocolate_mass
- Wiley, J. (1982). The pyrazines. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=CwcpAAAAyAAJ&q=Pyrazine+and+water&dq=Pyrazine+and+water&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjG7PfN1pTkAhXxp1kKHbFYCw4Q6AEIXzAI>
- Zarić, D.; Pajin, B.; Rakin, M.; Šereš, Z.; Dokič, L.; Tomić, J. (2011). Effect of soya milk on nutritive, antioxidative, rheological and textural properties of chocolate in a ball mill. Hemijska Industrija, 65(5), 563-573. doi: 10.2298/HEMIND110525045Z

Zhang, D.; Martínez, W.; Johnson, E.; Somarriba, E.; Phillips-Mora, W.; Astorga, C.; Mischke, S.; Meinhardt. (2012). Genetic diversity and spatial structure in a new distinct *Theobroma cacao* L. population in Bolivia. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59:239-252. doi: 10.1007/s10722-011-9680-

Ziegler, G.; Hogg, R. (2009). Particle size reduction. En S.T. Beckett, M.S. Fowler, G.R. Ziegler (Eds.), *Industrial chocolate and use* (p. 216-240). York, UK: Blackwell Publishing Ltd.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Formulario para la prueba de comparación pareada: simple y direccionada

Nombre del Juez: _____		Fecha : _____	
	Par de muestras	Hay diferencia	No hay diferencia
	735 vs 270		
	702 vs 952		
	924 vs 101		
Comentario: _____			
_____ _____			
Pruebe las dos muestras de chocolate y marque el casillero sombreado correspondiente a la más aceptable/preferible en cuanto a la arenosidad (<i>gritty</i>)			
	<input style="width: 80%; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80%; height: 20px;" type="text"/>	
	735	270	
	<input style="width: 80%; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80%; height: 20px;" type="text"/>	
	702	952	
	<input style="width: 80%; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80%; height: 20px;" type="text"/>	
	924	101	
Comentario _____			

¡Gracias por su colaboración!			

ANEXO 2: Formulario para la evaluación sensorial de chocolate

NOMBRE: _____

FECHA: _____

Estas muestras están identificadas por medio de un código de tres dígitos. Por favor califique la intensidad de los atributos que encuentre en cada muestra, según la siguiente escala:

Escriba al costado del código el porcentaje de cacao que usted considera tenga el chocolate.

0: Ausente 1-2: Bajo. Presente en la muestra 3-5: Medio. Claramente presente en la muestra
6-8: alto. Dominante en la muestra 9-10. Muy alto. Enmascara otros sabores.

Porcentaje de cacao	Código	Cacao	Atributos básicos			Atributos específicos			Otros		Impresión Global
			Ácido	Astringente	Amargo	Floral	Frutal	Nuez	Dulce	Otros-cuál	

COMENTARIOS:

Gracias por su colaboración

ANEXO 3: Tabla con el mínimo número de respuestas correctas para establecer significancia a diferentes niveles de probabilidad según Distribución Binomial

Número de juicios/ panelistas	Nivel de probabilidad								
	Pareada, Dúo-Trío, Preferencia Pareada						Triangular		
	Una cola			Dos colas			Una cola		
	0.05	0.01	0.001	0.05	0.01	0.001	0.05	0.01	0.001
5							4	5	5
6							5	6	6
7	7	7	--	7	--	--	5	6	7
8	7	8	--	8	8	--	6	7	8
9	8	9	--	8	9	--	6	7	8
10	9	10	10	9	10	--	7	8	9
11	9	10	11	10	11	11	7	8	9
12	10	11	12	10	11	12	8	9	10
13	10	12	13	11	12	13	8	9	10
14	11	12	13	12	13	14	9	10	11
15	12	13	14	12	13	14	9	10	12
16	12	14	15	13	14	15	10	11	12
17	13	14	16	13	15	16	10	11	13
18	13	15	16	14	15	17	10	12	13
19	14	15	17	15	16	17	11	12	14
20	15	16	18	15	17	18	11	13	14
21	15	17	18	16	17	19	12	13	15
22	16	17	19	17	18	19	12	14	15
23	16	18	20	17	19	20	13	14	16
24	17	19	20	18	19	21	13	14	16
25	18	19	21	18	20	21	13	15	17
30	20	22	24	21	23	25	16	17	19
35	23	25	27	24	26	28	18	19	21
40	26	28	31	27	29	31	20	22	24
45	29	31	34	30	32	34	22	24	26
50	32	34	37	33	35	37	24	26	28
60	37	40	43	39	41	44	28	30	33
70	43	46	49	44	47	50	32	34	37
80	48	51	55	50	52	56	35	38	41
90	54	57	61	55	58	61	39	42	45
100	59	63	66	61	64	67	43	46	49

FUENTE: Tomado de Liria (2008)

ANEXO 4: Datos composición proximal de granos y nibs de cacao blanco de Piura

Componente (%)	Réplica	Grano de cacao	Nibs de cacao
Humedad	1	5,21	3,36
Proteína cruda	1	13,40	13,26
Ceniza	1	3,28	3,73
Grasa cruda	1	55,49	58,95
Carbohidratos totales	1	27,83	24,06
Humedad	2	5,22	3,37
Proteína cruda	2	13,48	13,18
Ceniza	2	3,30	3,57
Grasa cruda	2	55,63	59,09
Carbohidratos totales	2	27,59	24,16

ANEXO 5: Resultados de la composición proximal de granos y nibs de cacao blanco de Piura

Comparación de Dos Muestras - Humedad cacao (g/100 g) & Humedad nibs (g/100 g)

Muestra 1: Humedad cacao (g/100 g)

Muestra 2: Humedad nibs (g/100 g)

Muestra 1: 2 valores en el rango de 5.21 a 5.22

Muestra 2: 2 valores en el rango de 3.36 a 3.37

Resumen Estadístico

	<i>Humedad cacao (g/100 g)</i>	<i>Humedad nibs (g/100 g)</i>
Recuento	2	2
Promedio	5.215	3.365
Desviación Estándar	0.00707107	0.00707107
Coefficiente de Variación	0.135591%	0.210136%
Mínimo	5.21	3.36
Máximo	5.22	3.37
Rango	0.01	0.01
Sesgo Estandarizado		
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Humedad cacao (g/100 g): 5.215 +/- 0.063531 [5.15147; 5.27853]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Humedad nibs (g/100 g): 3.365 +/- 0.063531 [3.30147; 3.42853]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 1.85 +/- 0.0304243 [1.81958; 1.88042]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

suponiendo varianzas iguales: t = 261.63 valor-P = 0.0000146089

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Proteína cruda cacao (g/100 g) & Proteína cruda nibs (g/100 g)

Muestra 1: Proteína cruda cacao (g/100 g)

Muestra 2: Proteína cruda nibs (g/100 g)

Muestra 1: 2 valores en el rango de 13.4 a 13.48

Muestra 2: 2 valores en el rango de 13.18 a 13.26

Resumen Estadístico

	<i>Proteína cruda cacao (g/100 g)</i>	<i>Proteína cruda nibs (g/100 g)</i>
Recuento	2	2
Promedio	13.44	13.22

Desviación Estándar	0.0565685	0.0565685
Coefficiente de Variación	0.420897%	0.427901%
Mínimo	13.4	13.18
Máximo	13.48	13.26
Rango	0.08	0.08
Sesgo Estandarizado		
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Proteína cruda cacao (g/100 g): 13.44 +/- 0.508248

[12.9318; 13.9482]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Proteína cruda nibs (g/100 g): 13.22 +/- 0.508248

[12.7118; 13.7282]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 0.22 +/- 0.243395 [-0.0233948; 0.463395]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

suponiendo varianzas iguales: t = 3.88909 valor-P = 0.0602066

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Grasa cruda cacao (g/100 g) & Grasa cruda nibs (g/100 g)

Muestra 1: Grasa cruda cacao (g/100 g)

Muestra 2: Grasa cruda nibs (g/100 g)

Muestra 1: 2 valores en el rango de 55.49 a 55.63

Muestra 2: 2 valores en el rango de 58.95 a 59.09

Resumen Estadístico

	<i>Grasa cruda cacao (g/100 g)</i>	<i>Grasa cruda nibs (g/100 g)</i>
Recuento	2	2
Promedio	55.56	59.02
Desviación Estándar	0.0989949	0.0989949
Coefficiente de Variación	0.178177%	0.167731%
Mínimo	55.49	58.95
Máximo	55.63	59.09
Rango	0.14	0.14
Sesgo Estandarizado		
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Grasa cruda cacao (g/100 g): 55.56 +/- 0.889434 [54.6706; 56.4494]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Grasa cruda nibs (g/100 g): 59.02 +/- 0.889434 [58.1306; 59.9094]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -3.46 +/- 0.425941 [-3.88594; -3.03406]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 < \mu_2$

suponiendo varianzas iguales: $t = -34.9513$ valor-P = **0.0008176**

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Comparación de Dos Muestras - Ceniza cacao (g/100 g) & Ceniza nibs (g/100 g)

Muestra 1: Ceniza cacao (g/100 g)

Muestra 2: Ceniza nibs (g/100 g)

Muestra 1: 2 valores en el rango de 3.28 a 3.3

Muestra 2: 2 valores en el rango de 3.57 a 3.73

Resumen Estadístico

	<i>Ceniza cacao (g/100 g)</i>	<i>Ceniza nibs (g/100 g)</i>
Recuento	2	2
Promedio	3.29	3.65
Desviación Estándar	0.0141421	0.113137
Coefficiente de Variación	0.429852%	3.09965%
Mínimo	3.28	3.57
Máximo	3.3	3.73
Rango	0.02	0.16
Sesgo Estandarizado		
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Ceniza cacao (g/100 g): 3.29 ± 0.127062 [3.16294; 3.41706]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Ceniza nibs (g/100 g): 3.65 ± 1.0165 [2.6335; 4.6665]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -0.36 ± 0.346891 [**-0.706891; -0.013109**]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 < \mu_2$

suponiendo varianzas iguales: $t = -4.46525$ valor-P = **0.0466711**

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Comparación de Dos Muestras - Carbohidratos cacao (g/100 g) & Carbohidratos nibs(g/100 g)

Muestra 1: Carbohidratos cacao (g/100 g)

Muestra 2: Carbohidratos nibs(g/100 g)

Muestra 1: 2 valores en el rango de 27.59 a 27.83

Muestra 2: 2 valores en el rango de 24.06 a 24.16

Resumen Estadístico

	<i>Carbohidratos cacao (g/100 g)</i>	<i>Carbohidratos nibs(g/100 g)</i>
Recuento	2	2
Promedio	27.71	24.11

Desviación Estándar	0.169706	0.0707107
Coefficiente de Variación	0.612435%	0.293284%
Mínimo	27.59	24.06
Máximo	27.83	24.16
Rango	0.24	0.1
Sesgo Estandarizado		
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Carbohidratos cacao (g/100 g): 27.71 +/- 1.52474 [26.1853; 29.2347]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Carbohidratos nibs(g/100 g): 24.11 +/- 0.63531 [23.4747; 24.7453]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 3.6 +/- 0.559345 [3.04066; 4.15934]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

suponiendo varianzas iguales: t = 27.6923 valor-P = 0.00130147

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

**ANEXO 6: Datos composición proximal de chocolate oscuro refinado-conchado a 0 y
20 h**

Componente (%)	Réplica	0 horas	20 horas
Humedad	1	1,94	1,55
Proteína cruda	1	9,47	7,19
Ceniza	1	1,89	1,85
Grasa cruda	1	37,56	36,29
Fibra cruda	1	1,84	1,77
Carbohidratos totales	1	51,08	54,67
Humedad	2	1,97	1,42
Proteína cruda	2	9,48	7,06
Ceniza	2	1,89	1,88
Grasa cruda	2	37,20	36,56
Fibra cruda	2	1,82	1,83
Carbohidratos totales	2	51,43	54,50
Humedad	3	1,92	1,52
Proteína cruda	3	9,35	7,05
Ceniza	3	1,87	1,87
Grasa cruda	3	37,59	36,40
Fibra cruda	3	1,85	1,82
Carbohidratos totales	3	51,19	53,78

ANEXO 7: Resultados de la composición proximal de chocolate oscuro refinado-conchado a 0 y 20 h

Comparación de Dos Muestras - Humedad (g/100 g) 0 h & Humedad (g/100 g) 20 h

Muestra 1: Humedad (g/100 g) 0 h
Muestra 2: Humedad (g/100 g) 20 h

Muestra 1: 3 valores en el rango de 1.92 a 1.97
Muestra 2: 3 valores en el rango de 1.42 a 1.55

Resumen Estadístico

	<i>Humedad (g/100 g) 0 h</i>	<i>Humedad (g/100 g) 20 h</i>
Recuento	3	3
Promedio	1.94333	1.49667
Desviación Estándar	0.0251661	0.0680686
Coefficiente de Variación	1.295%	4.54801%
Mínimo	1.92	1.42
Máximo	1.97	1.55
Rango	0.05	0.13
Sesgo Estandarizado	0.41407	-0.962585
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Humedad (g/100 g) 0 h: 1.94333 +/- 0.0625161 [1.88082; 2.00585]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Humedad (g/100 g) 20 h: 1.49667 +/- 0.169092 [1.32757; 1.66576]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 0.446667 +/- 0.116332 [0.330335; 0.562998]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 < \mu_2$

suponiendo varianzas iguales: $t = 10.6605$ valor-P = 0.000438515

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Comparación de Dos Muestras - Proteína cruda (g/100 g) 0 h & Proteína cruda (g/100 g) 20 h

Muestra 1: Proteína cruda (g/100 g) 0 h
Muestra 2: Proteína cruda (g/100 g) 20 h

Muestra 1: 3 valores en el rango de 9.35 a 9.48
Muestra 2: 3 valores en el rango de 7.06 a 7.95

Resumen Estadístico

	<i>Proteína cruda (g/100 g) 0 h</i>	<i>Proteína cruda (g/100 g) 20 h</i>
Recuento	3	3
Promedio	9.43333	7.4
Desviación Estándar	0.0723418	0.480729
Coefficiente de Variación	0.766874%	6.49633%
Mínimo	9.35	7.06
Máximo	9.48	7.95
Rango	0.13	0.89
Sesgo Estandarizado	-1.19847	1.12476
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Proteína cruda (g/100 g) 0 h: 9.43333 +/- 0.179707 [9.25363; 9.61304]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Proteína cruda (g/100 g) 20 h: 7.4 +/- 1.1942 [6.2058; 8.5942]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 2.03333 +/- 0.779278 [1.25406; 2.81261]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

suponiendo varianzas iguales: t = 7.24447 valor-P = 0.00192696

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Grasa cruda (g/100 g) 0 h & Grasa cruda (g/100 g) 20 h

Muestra 1: Grasa cruda (g/100 g) 0 h

Muestra 2: Grasa cruda (g/100 g) 20 h

Muestra 1: 3 valores en el rango de 37.2 a 37.59

Muestra 2: 3 valores en el rango de 36.29 a 36.56

Resumen Estadístico

	<i>Grasa cruda (g/100 g) 0 h</i>	<i>Grasa cruda (g/100 g) 20 h</i>
Recuento	3	3
Promedio	37.45	36.4167
Desviación Estándar	0.217025	0.135769
Coefficiente de Variación	0.579507%	0.372822%
Mínimo	37.2	36.29
Máximo	37.59	36.56
Rango	0.39	0.27
Sesgo Estandarizado	-1.19847	0.384725
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Grasa cruda (g/100 g) 0 h: 37.45 +/- 0.539121 [36.9109; 37.9891]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Grasa cruda (g/100 g) 20 h: 36.4167 +/- 0.33727 [36.0794; 36.7539]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 1.03333 +/- 0.410356 [0.622977; 1.44369]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

suponiendo varianzas iguales: t = 6.99149 valor-P = 0.00220212

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Fibra cruda (g/100 g) 0 h & Fibra cruda (g/100 g) 20 h

Muestra 1: Fibra cruda (g/100 g) 0 h

Muestra 2: Fibra cruda (g/100 g) 20 h

Muestra 1: 3 valores en el rango de 1.82 a 1.85

Muestra 2: 3 valores en el rango de 1.77 a 1.83

Resumen Estadístico

	<i>Fibra cruda (g/100 g) 0 h</i>	<i>Fibra cruda (g/100 g) 20 h</i>
Recuento	3	3

Promedio	1.83667	1.80667
Desviación Estándar	0.0152753	0.0321455
Coefficiente de Variación	0.831683%	1.77927%
Mínimo	1.82	1.77
Máximo	1.85	1.83
Rango	0.03	0.06
Sesgo Estandarizado	-0.6613	-1.09276
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Fibra cruda (g/100 g) 0 h: 1.83667 +/- 0.0379458 [1.79872; 1.87461]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Fibra cruda (g/100 g) 20 h: 1.80667 +/- 0.0798539 [1.72681; 1.88652]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 0.03 +/- 0.0570507 [-0.0270507; 0.0870507]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = 1.45999 valor-P = 0.218071

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Ceniza (g/100 g) 0 h & Ceniza (g/100 g) 20 h

Muestra 1: Ceniza (g/100 g) 0 h

Muestra 2: Ceniza (g/100 g) 20 h

Muestra 1: 3 valores en el rango de 1.87 a 1.89

Muestra 2: 3 valores en el rango de 1.85 a 1.88

Resumen Estadístico

	Ceniza (g/100 g) 0 h	Ceniza (g/100 g) 20 h
Recuento	3	3
Promedio	1.88333	1.86667
Desviación Estándar	0.011547	0.0152753
Coefficiente de Variación	0.613115%	0.818317%
Mínimo	1.87	1.85
Máximo	1.89	1.88
Rango	0.02	0.03
Sesgo Estandarizado	-1.22474	-0.6613
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Ceniza (g/100 g) 0 h: 1.88333 +/- 0.0286844 [1.85465; 1.91202]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Ceniza (g/100 g) 20 h: 1.86667 +/- 0.0379458 [1.82872; 1.90461]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 0.0166667 +/- 0.0306948 [-0.0140282; 0.0473615]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = 1.50756 valor-P = 0.206151

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Carbohidratos (g/100 g) 0 h & Carbohidratos (g/100 g) 20 h

Muestra 1: Carbohidratos (g/100 g) 0 h

Muestra 2: Carbohidratos (g/100 g) 20 h

Muestra 1: 3 valores en el rango de 51.08 a 51.43

Muestra 2: 3 valores en el rango de 53.78 a 54.67

Resumen Estadístico

	Carbohidratos (g/100 g) 0 h	Carbohidratos (g/100 g) 20 h
Recuento	3	3
Promedio	51.2333	54.3167
Desviación Estándar	0.178979	0.472476
Coefficiente de Variación	0.34934%	0.869854%
Mínimo	51.08	53.78
Máximo	51.43	54.67
Rango	0.35	0.89
Sesgo Estandarizado	0.725243	-1.04879
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Carbohidratos (g/100 g) 0 h: 51.2333 +/- 0.444607 [50.7887; 51.6779]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Carbohidratos (g/100 g) 20 h: 54.3167 +/- 1.17369 [53.143; 55.4904]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -3.08333 +/- 0.809892 [-3.89322; -2.27344]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 < \mu_2$

suponiendo varianzas iguales: $t = -10.5702$ valor-P = 0.000453243

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

ANEXO 8: Resultados estadísticos del tamaño de partícula (micrómetro) a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 1

ANOVA Simple - T de partícula micrómetro por Tiempo

Variable dependiente: T de partícula micrómetro (um)

Factor: Tiempo

Número de observaciones: 33

Número de niveles: 11

Tabla ANOVA para T de partícula micrómetro por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	251646.	10	25164.6	27.73	0.0000
Intra grupos	19966.0	22	907.545		
Total (Corr.)	271612.	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para T de partícula micrómetro por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20	3	26.3333	X
14	3	29.3333	X
18	3	30.0	X
16	3	31.0	X
12	3	32.6667	X
10	3	39.6667	X
8	3	44.6667	XX
6	3	47.6667	XX
4	3	65.3333	XX
2	3	95.6667	X
0	3	340.333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites				
0 - 2	*	244.667	51.0119	6 - 10		8.0	51.0119
0 - 4	*	275.0	51.0119	6 - 12		15.0	51.0119
0 - 6	*	292.667	51.0119	6 - 14		18.3333	51.0119
0 - 8	*	295.667	51.0119	6 - 16		16.6667	51.0119
0 - 10	*	300.667	51.0119	6 - 18		17.6667	51.0119
0 - 12	*	307.667	51.0119	6 - 20		21.3333	51.0119
0 - 14	*	311.0	51.0119	8 - 10		5.0	51.0119
0 - 16	*	309.333	51.0119	8 - 12		12.0	51.0119
0 - 18	*	310.333	51.0119	8 - 14		15.3333	51.0119
0 - 20	*	314.0	51.0119	8 - 16		13.6667	51.0119
2 - 4		30.3333	51.0119	8 - 18		14.6667	51.0119
2 - 6		48.0	51.0119	8 - 20		18.3333	51.0119
2 - 8		51.0	51.0119	10 - 12		7.0	51.0119
2 - 10	*	56.0	51.0119	10 - 14		10.3333	51.0119
2 - 12	*	63.0	51.0119	10 - 16		8.66667	51.0119
2 - 14	*	66.3333	51.0119	10 - 18		9.66667	51.0119
2 - 16	*	64.6667	51.0119	10 - 20		13.3333	51.0119
2 - 18	*	65.6667	51.0119	12 - 14		3.33333	51.0119
2 - 20	*	69.3333	51.0119	12 - 16		1.66667	51.0119
4 - 6		17.6667	51.0119	12 - 18		2.66667	51.0119
4 - 8		20.6667	51.0119	12 - 20		6.33333	51.0119
4 - 10		25.6667	51.0119	14 - 16		-1.66667	51.0119
4 - 12		32.6667	51.0119	14 - 18		-0.666667	51.0119
4 - 14		36.0	51.0119	14 - 20		3.0	51.0119
4 - 16		34.3333	51.0119	16 - 18		1.0	51.0119
4 - 18		35.3333	51.0119	16 - 20		4.66667	51.0119
4 - 20		39.0	51.0119	18 - 20		3.66667	51.0119
6 - 8		3.0	51.0119				

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 9: Resultados estadísticos del tamaño de partícula (micrómetro) a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 2

Tabla ANOVA para T de partícula micrómetro por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	120852.	10	12085.2	15.11	0.0000
Intra grupos	17594.0	22	799.727		
Total (Corr.)	138446.	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para T de partícula micrómetro por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20	3	23.6667	X
18	3	24.6667	X
16	3	25.6667	X
12	3	26.0	X
14	3	28.3333	X
10	3	30.0	X
8	3	32.6667	X
6	3	38.6667	XX
4	3	44.3333	XX
2	3	84.3333	X
0	3	238.333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites			
0 - 2	*	154.0	47.886	6 - 10	8.66667	47.886
0 - 4	*	194.0	47.886	6 - 12	12.66667	47.886
0 - 6	*	199.667	47.886	6 - 14	10.33333	47.886
0 - 8	*	205.667	47.886	6 - 16	13.0	47.886
0 - 10	*	208.333	47.886	6 - 18	14.0	47.886
0 - 12	*	212.333	47.886	6 - 20	15.0	47.886
0 - 14	*	210.0	47.886	8 - 10	2.66667	47.886
0 - 16	*	212.667	47.886	8 - 12	6.66667	47.886
0 - 18	*	213.667	47.886	8 - 14	4.33333	47.886
0 - 20	*	214.667	47.886	8 - 16	7.0	47.886
2 - 4		40.0	47.886	8 - 18	8.0	47.886
2 - 6		45.6667	47.886	8 - 20	9.0	47.886
2 - 8	*	51.6667	47.886	10 - 12	4.0	47.886
2 - 10	*	54.3333	47.886	10 - 14	1.66667	47.886
2 - 12	*	58.3333	47.886	10 - 16	4.33333	47.886
2 - 14	*	56.0	47.886	10 - 18	5.33333	47.886
2 - 16	*	58.6667	47.886	10 - 20	6.33333	47.886
2 - 18	*	59.6667	47.886	12 - 14	-2.33333	47.886
2 - 20	*	60.6667	47.886	12 - 16	0.333333	47.886
4 - 6		5.66667	47.886	12 - 18	1.33333	47.886
4 - 8		11.6667	47.886	12 - 20	2.33333	47.886
4 - 10		14.3333	47.886	14 - 16	2.66667	47.886
4 - 12		18.3333	47.886	14 - 18	3.66667	47.886
4 - 14		16.0	47.886	14 - 20	4.66667	47.886
4 - 16		18.6667	47.886	16 - 18	1.0	47.886
4 - 18		19.6667	47.886	16 - 20	2.0	47.886
4 - 20		20.6667	47.886	18 - 20	1.0	47.886
6 - 8		6.0	47.886			

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 10: Resultados estadísticos del tamaño de partícula (micrómetro) a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 3

ANOVA Simple - T de partícula micrómetro por Tiempo

Variable dependiente: T de partícula micrómetro (um)

Factor: Tiempo (hr)

Tabla ANOVA para T de partícula micrómetro por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	134015.	10	13401.5	371.64	0.0000
Intra grupos	793.333	22	36.0606		
Total (Corr.)	134809.	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para T de partícula micrómetro por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20	3	15.0	X
18	3	17.6667	X
16	3	18.3333	X
14	3	19.0	X
12	3	19.3333	X
10	3	23.3333	XX
8	3	24.6667	XX
6	3	32.3333	X
4	3	45.0	X
2	3	68.6667	X
0	3	243.667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites				
0 - 2	*	175.0	10.1684	6 - 8		7.66667	10.1684
0 - 4	*	198.667	10.1684	6 - 10		9.0	10.1684
0 - 6	*	211.333	10.1684	6 - 12	*	13.0	10.1684
0 - 8	*	219.0	10.1684	6 - 14	*	13.3333	10.1684
0 - 10	*	220.333	10.1684	6 - 16	*	14.0	10.1684
0 - 12	*	224.333	10.1684	6 - 18	*	14.6667	10.1684
0 - 14	*	224.667	10.1684	6 - 20	*	17.3333	10.1684
0 - 16	*	225.333	10.1684	8 - 10		1.33333	10.1684
0 - 18	*	226.0	10.1684	8 - 12		5.33333	10.1684
0 - 20	*	228.667	10.1684	8 - 14		5.66667	10.1684
2 - 4	*	23.6667	10.1684	8 - 16		6.33333	10.1684
2 - 6	*	36.3333	10.1684	8 - 18		7.0	10.1684
2 - 8	*	44.0	10.1684	8 - 20		9.66667	10.1684
2 - 10	*	45.3333	10.1684	10 - 12		4.0	10.1684
2 - 12	*	49.3333	10.1684	10 - 14		4.33333	10.1684
2 - 14	*	49.6667	10.1684	10 - 16		5.0	10.1684
2 - 16	*	50.3333	10.1684	10 - 18		5.66667	10.1684
2 - 18	*	51.0	10.1684	10 - 20		8.33333	10.1684
2 - 20	*	53.6667	10.1684	12 - 14		0.333333	10.1684
4 - 6	*	12.6667	10.1684	12 - 16		1.0	10.1684
4 - 8	*	20.3333	10.1684	12 - 18		1.66667	10.1684
4 - 10	*	21.6667	10.1684	12 - 20		4.33333	10.1684
4 - 12	*	25.6667	10.1684	14 - 16		0.666667	10.1684
4 - 14	*	26.0	10.1684	14 - 18		1.33333	10.1684
4 - 16	*	26.6667	10.1684	14 - 20		4.0	10.1684
4 - 18	*	27.3333	10.1684	16 - 18		0.666667	10.1684
4 - 20	*	30.0	10.1684	16 - 20		3.33333	10.1684
				18 - 20		2.66667	10.1684

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 11: Resultados estadísticos del tamaño de partícula (micrómetro) a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 1, 2 y 3

ANOVA Multifactorial - T de partícula micrómetro

Análisis de Varianza para T de partícula micrómetro - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo	491794.	10	49179.4	79.69	0.0000
B:BLOQUE	9528.63	2	4764.31	7.72	0.0008
RESIDUOS	53072.7	86	617.125		
TOTAL (CORREGIDO)	554396.	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para T de partícula micrómetro por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
20	9	21.6667	8.28066	X
18	9	24.1111	8.28066	X
16	9	25.0	8.28066	X
14	9	25.5556	8.28066	X
12	9	26.0	8.28066	X
10	9	31.0	8.28066	XX
8	9	34.0	8.28066	XX
6	9	39.5556	8.28066	XX
4	9	51.5556	8.28066	X
2	9	82.8889	8.28066	X
0	9	274.111	8.28066	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites			
0 - 2	*	191.222	23.28	6 - 8	5.55556	23.28
0 - 4	*	222.556	23.28	6 - 10	8.55556	23.28
0 - 6	*	234.556	23.28	6 - 12	13.5556	23.28
0 - 8	*	240.111	23.28	6 - 14	14.0	23.28
0 - 10	*	243.111	23.28	6 - 16	14.5556	23.28
0 - 12	*	248.111	23.28	6 - 18	15.4444	23.28
0 - 14	*	248.556	23.28	6 - 20	17.8889	23.28
0 - 16	*	249.111	23.28	8 - 10	3.0	23.28
0 - 18	*	250.0	23.28	8 - 12	8.0	23.28
0 - 20	*	252.444	23.28	8 - 14	8.44444	23.28
2 - 4	*	31.3333	23.28	8 - 16	9.0	23.28
2 - 6	*	43.3333	23.28	8 - 18	9.88889	23.28
2 - 8	*	48.8889	23.28	8 - 20	12.3333	23.28
2 - 10	*	51.8889	23.28	10 - 12	5.0	23.28
2 - 12	*	56.8889	23.28	10 - 14	5.44444	23.28
2 - 14	*	57.3333	23.28	10 - 16	6.0	23.28
2 - 16	*	57.8889	23.28	10 - 18	6.88889	23.28
2 - 18	*	58.7778	23.28	10 - 20	9.33333	23.28
2 - 20	*	61.2222	23.28	12 - 14	0.444444	23.28
4 - 6		12.0	23.28	12 - 16	1.0	23.28
4 - 8		17.5556	23.28	12 - 18	1.88889	23.28
4 - 10		20.5556	23.28	12 - 20	4.33333	23.28
4 - 12	*	25.5556	23.28	14 - 16	0.555556	23.28
4 - 14	*	26.0	23.28	14 - 18	1.44444	23.28
4 - 16	*	26.5556	23.28	14 - 20	3.88889	23.28
4 - 18	*	27.4444	23.28	16 - 18	0.888889	23.28
4 - 20	*	29.8889	23.28	16 - 20	3.33333	23.28
				18 - 20	2.44444	23.28

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 12: Resultados estadísticos del tamaño de partícula por análisis dinámico de imagen a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 1

ANOVA Simple - T de partícula imagen por Tiempo

Variable dependiente: T de partícula imagen (um)
Factor: Tiempo

Número de observaciones: 33

Número de niveles: 11

ANOVA Simple - T de partícula imagen por Tiempo

Tabla ANOVA para T de partícula imagen por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	48121.1	10	4812.11	27.69	0.0000
Intra grupos	3822.9	22	173.768		
Total (Corr.)	51944.0	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para T de partícula imagen por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20	3	54.0567	X
18	3	63.4633	XX
16	3	75.9333	XXX
12	3	77.3867	XX
10	3	79.6	XX
8	3	85.51	XX
14	3	91.9967	XX
6	3	108.807	X
4	3	111.447	X
2	3	152.197	X
0	3	188.833	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites		
0 - 2	*	36.6367	22.3215	6 - 8	* 23.2967 22.3215
0 - 4	*	77.3867	22.3215	6 - 10	* 29.2067 22.3215
0 - 6	*	80.0267	22.3215	6 - 12	* 31.42 22.3215
0 - 8	*	103.323	22.3215	6 - 14	16.81 22.3215
0 - 10	*	109.233	22.3215	6 - 16	* 32.8733 22.3215
0 - 12	*	111.447	22.3215	6 - 18	* 45.3433 22.3215
0 - 14	*	96.8367	22.3215	6 - 20	* 54.75 22.3215
0 - 16	*	112.9	22.3215	8 - 10	5.91 22.3215
0 - 18	*	125.37	22.3215	8 - 12	8.12333 22.3215
0 - 20	*	134.777	22.3215	8 - 14	-6.48667 22.3215
2 - 4	*	40.75	22.3215	8 - 16	9.57667 22.3215
2 - 6	*	43.39	22.3215	8 - 18	22.0467 22.3215
2 - 8	*	66.6867	22.3215	8 - 20	* 31.4533 22.3215
2 - 10	*	72.5967	22.3215	10 - 12	2.21333 22.3215
2 - 12	*	74.81	22.3215	10 - 14	-12.3967 22.3215
2 - 14	*	60.2	22.3215	10 - 16	3.66667 22.3215
2 - 16	*	76.2633	22.3215	10 - 18	16.1367 22.3215
2 - 18	*	88.7333	22.3215	10 - 20	* 25.5433 22.3215
2 - 20	*	98.14	22.3215	12 - 14	-14.61 22.3215
4 - 6		2.64	22.3215	12 - 16	1.45333 22.3215
4 - 8	*	25.9367	22.3215	12 - 18	13.9233 22.3215
4 - 10	*	31.8467	22.3215	12 - 20	* 23.33 22.3215
4 - 12	*	34.06	22.3215	14 - 16	16.0633 22.3215
4 - 14		19.45	22.3215	14 - 18	* 28.5333 22.3215
4 - 16	*	35.5133	22.3215	14 - 20	* 37.94 22.3215
4 - 18	*	47.9833	22.3215	16 - 18	12.47 22.3215
4 - 20	*	57.39	22.3215	16 - 20	21.8767 22.3215
				18 - 20	9.40667 22.3215

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 13: Resultados estadísticos del tamaño de partícula por análisis dinámico de imagen a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 2

ANOVA Simple - T de partícula imagen por Tiempo

Tabla ANOVA para T de partícula imagen por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	25743.3	10	2574.33	7.85	0.0000
Intra grupos	7218.56	22	328.116		
Total (Corr.)	32961.8	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para T de partícula imagen por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20	3	70.5667	X
18	3	72.42	XX
12	3	81.54	XXX
16	3	82.1967	XXX
14	3	82.4333	XXX
10	3	99.5233	XXXX
8	3	102.687	XXX
4	3	107.323	XX
6	3	122.987	XX
0	3	149.333	XX
2	3	155.01	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites				
0 - 2		-5.67667	30.6727	6 - 8		20.3	30.6727
0 - 4	*	42.01	30.6727	6 - 10		23.4633	30.6727
0 - 6		26.3467	30.6727	6 - 12	*	41.4467	30.6727
0 - 8	*	46.6467	30.6727	6 - 14	*	40.5533	30.6727
0 - 10	*	49.81	30.6727	6 - 16	*	40.79	30.6727
0 - 12	*	67.7933	30.6727	6 - 18	*	50.5667	30.6727
0 - 14	*	66.9	30.6727	6 - 20	*	52.42	30.6727
0 - 16	*	67.1367	30.6727	8 - 10		3.16333	30.6727
0 - 18	*	76.9133	30.6727	8 - 12		21.1467	30.6727
0 - 20	*	78.7667	30.6727	8 - 14		20.2533	30.6727
2 - 4	*	47.6867	30.6727	8 - 16		20.49	30.6727
2 - 6	*	32.0233	30.6727	8 - 18		30.2667	30.6727
2 - 8	*	52.3233	30.6727	8 - 20	*	32.12	30.6727
2 - 10	*	55.4867	30.6727	10 - 12		17.9833	30.6727
2 - 12	*	73.47	30.6727	10 - 14		17.09	30.6727
2 - 14	*	72.5767	30.6727	10 - 16		17.3267	30.6727
2 - 16	*	72.8133	30.6727	10 - 18		27.1033	30.6727
2 - 18	*	82.59	30.6727	10 - 20		28.9567	30.6727
2 - 20	*	84.4433	30.6727	12 - 14		-0.893333	30.6727
4 - 6		-15.6633	30.6727	12 - 16		-0.656667	30.6727
4 - 8		4.63667	30.6727	12 - 18		9.12	30.6727
4 - 10		7.8	30.6727	12 - 20		10.9733	30.6727
4 - 12		25.7833	30.6727	14 - 16		0.236667	30.6727
4 - 14		24.89	30.6727	14 - 18		10.0133	30.6727
4 - 16		25.1267	30.6727	14 - 20		11.8667	30.6727
4 - 18	*	34.9033	30.6727	16 - 18		9.77667	30.6727
4 - 20	*	36.7567	30.6727	16 - 20		11.63	30.6727
				18 - 20		1.85333	30.6727

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 14: Resultados estadísticos del tamaño de partícula por análisis dinámico de imagen a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 3

ANOVA Simple - T de partícula imagen por Tiempo

Tabla ANOVA para T de partícula imagen por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	61373.6	10	6137.36	5.77	0.0003
Intra grupos	23384.4	22	1062.93		
Total (Corr.)	84757.9	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para T de partícula imagen por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20	3	53.6667	X
14	3	61.4333	XX
18	3	64.2667	XX
12	3	66.7	XX
16	3	69.6667	XX
6	3	93.3667	XX
10	3	97.9667	XX
8	3	110.367	XX
0	3	113.267	XX
4	3	153.367	XX
2	3	201.767	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites				
0 - 2	*	-88.5	55.2063	6 - 8		-17.0	55.2063
0 - 4		-40.1	55.2063	6 - 10		-4.6	55.2063
0 - 6		19.9	55.2063	6 - 12		26.6667	55.2063
0 - 8		2.9	55.2063	6 - 14		31.9333	55.2063
0 - 10		15.3	55.2063	6 - 16		23.7	55.2063
0 - 12		46.5667	55.2063	6 - 18		29.1	55.2063
0 - 14		51.8333	55.2063	6 - 20		39.7	55.2063
0 - 16		43.6	55.2063	8 - 10		12.4	55.2063
0 - 18		49.0	55.2063	8 - 12		43.6667	55.2063
0 - 20	*	59.6	55.2063	8 - 14		48.9333	55.2063
2 - 4		48.4	55.2063	8 - 16		40.7	55.2063
2 - 6	*	108.4	55.2063	8 - 18		46.1	55.2063
2 - 8	*	91.4	55.2063	8 - 20	*	56.7	55.2063
2 - 10	*	103.8	55.2063	10 - 12		31.2667	55.2063
2 - 12	*	135.067	55.2063	10 - 14		36.5333	55.2063
2 - 14	*	140.333	55.2063	10 - 16		28.3	55.2063
2 - 16	*	132.1	55.2063	10 - 18		33.7	55.2063
2 - 18	*	137.5	55.2063	10 - 20		44.3	55.2063
2 - 20	*	148.1	55.2063	12 - 14		5.26667	55.2063
4 - 6	*	60.0	55.2063	12 - 16		-2.96667	55.2063
4 - 8		43.0	55.2063	12 - 18		2.43333	55.2063
4 - 10	*	55.4	55.2063	12 - 20		13.0333	55.2063
4 - 12	*	86.6667	55.2063	14 - 16		-8.23333	55.2063
4 - 14	*	91.9333	55.2063	14 - 18		-2.83333	55.2063
4 - 16	*	83.7	55.2063	14 - 20		7.76667	55.2063
4 - 18	*	89.1	55.2063	16 - 18		5.4	55.2063
4 - 20	*	99.7	55.2063	16 - 20		16.0	55.2063
				18 - 20		10.6	55.2063

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 15 : Resultados estadísticos del tamaño de partícula por análisis dinámico de imagen a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 1, 2 y 3

ANOVA Multifactorial - T de partícula imagen

Análisis de Varianza para T de partícula imagen - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo	126595.	10	12659.5	32.53	0.0000
B:BLOQUE	252.587	2	126.293	0.32	0.7238
RESIDUOS	33472.7	86	389.217		
TOTAL (CORREGIDO)	160320.	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para T de partícula imagen por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
20	9	59.43	6.5762	X
18	9	66.7167	6.5762	XX
12	9	75.2089	6.5762	XXX
16	9	75.9322	6.5762	XXX
14	9	78.6211	6.5762	XX
10	9	92.3633	6.5762	XX
8	9	99.5211	6.5762	X
6	9	108.387	6.5762	XX
4	9	124.046	6.5762	X
0	9	164.189	6.5762	X
2	9	169.658	6.5762	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites				
0 - 2		-5.46889	18.4881	6 - 8		8.86556	18.4881
0 - 4	*	40.1433	18.4881	6 - 10		16.0233	18.4881
0 - 6	*	55.8022	18.4881	6 - 12	*	33.1778	18.4881
0 - 8	*	64.6678	18.4881	6 - 14	*	29.7656	18.4881
0 - 10	*	71.8256	18.4881	6 - 16	*	32.4544	18.4881
0 - 12	*	88.98	18.4881	6 - 18	*	41.67	18.4881
0 - 14	*	85.5678	18.4881	6 - 20	*	48.9567	18.4881
0 - 16	*	88.2567	18.4881	8 - 10		7.15778	18.4881
0 - 18	*	97.4722	18.4881	8 - 12	*	24.3122	18.4881
0 - 20	*	104.759	18.4881	8 - 14	*	20.9	18.4881
2 - 4	*	45.6122	18.4881	8 - 16	*	23.5889	18.4881
2 - 6	*	61.2711	18.4881	8 - 18	*	32.8044	18.4881
2 - 8	*	70.1367	18.4881	8 - 20	*	40.0911	18.4881
2 - 10	*	77.2944	18.4881	10 - 12		17.1544	18.4881
2 - 12	*	94.4489	18.4881	10 - 14		13.7422	18.4881
2 - 14	*	91.0367	18.4881	10 - 16		16.4311	18.4881
2 - 16	*	93.7256	18.4881	10 - 18	*	25.6467	18.4881
2 - 18	*	102.941	18.4881	10 - 20	*	32.9333	18.4881
2 - 20	*	110.228	18.4881	12 - 14		-3.41222	18.4881
4 - 6		15.6589	18.4881	12 - 16		-0.723333	18.4881
4 - 8	*	24.5244	18.4881	12 - 18		8.49222	18.4881
4 - 10	*	31.6822	18.4881	12 - 20		15.7789	18.4881
4 - 12	*	48.8367	18.4881	14 - 16		2.68889	18.4881
4 - 14	*	45.4244	18.4881	14 - 18		11.9044	18.4881
4 - 16	*	48.1133	18.4881	14 - 20	*	19.1911	18.4881
4 - 18	*	57.3289	18.4881	16 - 18		9.21556	18.4881
4 - 20	*	64.6156	18.4881	16 - 20		16.5022	18.4881
				18 - 20		7.28667	18.4881

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 16: Resultados estadísticos de la viscosidad plástica a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 1

ANOVA Simple – Viscosidad plástica por Tiempo

Variable dependiente: Viscosidad plástica (Pa.s)

Factor: Tiempo

Número de observaciones: 33

Número de niveles: 11

ANOVA Simple - Viscosidad plástica por Tiempo

Tabla ANOVA para Viscosidad plástica por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.06225	10	0.106225	8.96	0.0000
Intra grupos	0.2608	22	0.0118545		
Total (Corr.)	1.32305	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para Viscosidad plástica por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	2.43	X
2	3	2.50333	X
10	3	2.71667	X
4	3	2.75	X
12	3	2.83	XX
20	3	2.87333	XX
6	3	2.89667	XX
18	3	2.9	XX
16	3	2.96	X
14	3	2.97667	X
8	3	2.99333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	6 - 8		-0.0966667	0.184366
0 - 2		-0.0733333	0.184366	6 - 10		0.18	0.184366
0 - 4	*	-0.32	0.184366	6 - 12		0.0666667	0.184366
0 - 6	*	-0.466667	0.184366	6 - 14		-0.08	0.184366
0 - 8	*	-0.563333	0.184366	6 - 16		-0.0633333	0.184366
0 - 10	*	-0.286667	0.184366	6 - 18		-0.00333333	0.184366
0 - 12	*	-0.4	0.184366	6 - 20		0.0233333	0.184366
0 - 14	*	-0.546667	0.184366	8 - 10	*	0.276667	0.184366
0 - 16	*	-0.53	0.184366	8 - 12		0.163333	0.184366
0 - 18	*	-0.47	0.184366	8 - 14		0.0166667	0.184366
0 - 20	*	-0.443333	0.184366	8 - 16		0.0333333	0.184366
2 - 4	*	-0.246667	0.184366	8 - 18		0.0933333	0.184366
2 - 6	*	-0.393333	0.184366	8 - 20		0.12	0.184366
2 - 8	*	-0.49	0.184366	10 - 12		-0.113333	0.184366
2 - 10	*	-0.213333	0.184366	10 - 14	*	-0.26	0.184366
2 - 12	*	-0.326667	0.184366	10 - 16	*	-0.243333	0.184366
2 - 14	*	-0.473333	0.184366	10 - 18		-0.183333	0.184366
2 - 16	*	-0.456667	0.184366	10 - 20		-0.156667	0.184366
2 - 18	*	-0.396667	0.184366	12 - 14		-0.146667	0.184366
2 - 20	*	-0.37	0.184366	12 - 16		-0.13	0.184366
4 - 6		-0.146667	0.184366	12 - 18		-0.07	0.184366
4 - 8	*	-0.243333	0.184366	12 - 20		-0.0433333	0.184366
4 - 10		0.0333333	0.184366	14 - 16		0.0166667	0.184366
4 - 12		-0.08	0.184366	14 - 18		0.0766667	0.184366
4 - 14	*	-0.226667	0.184366	14 - 20		0.103333	0.184366
4 - 16	*	-0.21	0.184366	16 - 18		0.06	0.184366
4 - 18		-0.15	0.184366	16 - 20		0.0866667	0.184366
4 - 20		-0.123333	0.184366	18 - 20		0.0266667	0.184366

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 17: Resultados estadísticos de la viscosidad plástica a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 2

ANOVA Simple - Viscosidad plástica por Tiempo

Tabla ANOVA para Viscosidad plástica (Pa.s) por Tiempo de refinado-conchado (h)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.85445	10	0.285445	60.07	0.0000
Intra grupos	0.104533	22	0.00475152		
Total (Corr.)	2.95899	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para Viscosidad plástica por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	2.05667	X
2	3	2.65667	X
4	3	2.67667	X
6	3	2.68667	X
10	3	2.92	X
12	3	2.93667	XX
8	3	2.98	XX
16	3	3.02667	XXX
14	3	3.04	XX
18	3	3.10333	X
20	3	3.11333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites				
				6 - 8	*	-0.293333	0.116722
				6 - 10	*	-0.233333	0.116722
0 - 2	*	-0.6	0.116722	6 - 12	*	-0.25	0.116722
0 - 4	*	-0.62	0.116722	6 - 14	*	-0.353333	0.116722
0 - 6	*	-0.63	0.116722	6 - 16	*	-0.34	0.116722
0 - 8	*	-0.923333	0.116722	6 - 18	*	-0.416667	0.116722
0 - 10	*	-0.863333	0.116722	6 - 20	*	-0.426667	0.116722
0 - 12	*	-0.88	0.116722	8 - 10		0.06	0.116722
0 - 14	*	-0.983333	0.116722	8 - 12		0.0433333	0.116722
0 - 16	*	-0.97	0.116722	8 - 14		-0.06	0.116722
0 - 18	*	-1.04667	0.116722	8 - 16		-0.0466667	0.116722
0 - 20	*	-1.05667	0.116722	8 - 18	*	-0.123333	0.116722
2 - 4		-0.02	0.116722	8 - 20	*	-0.133333	0.116722
2 - 6		-0.03	0.116722	10 - 12		-0.0166667	0.116722
2 - 8	*	-0.323333	0.116722	10 - 14	*	-0.12	0.116722
2 - 10	*	-0.263333	0.116722	10 - 16		-0.106667	0.116722
2 - 12	*	-0.28	0.116722	10 - 18	*	-0.183333	0.116722
2 - 14	*	-0.383333	0.116722	10 - 20	*	-0.193333	0.116722
2 - 16	*	-0.37	0.116722	12 - 14		-0.103333	0.116722
2 - 18	*	-0.446667	0.116722	12 - 16		-0.09	0.116722
2 - 20	*	-0.456667	0.116722	12 - 18	*	-0.166667	0.116722
4 - 6		-0.01	0.116722	12 - 20	*	-0.176667	0.116722
4 - 8	*	-0.303333	0.116722	14 - 16		0.0133333	0.116722
4 - 10	*	-0.243333	0.116722	14 - 18		-0.0633333	0.116722
4 - 12	*	-0.26	0.116722	14 - 20		-0.0733333	0.116722
4 - 14	*	-0.363333	0.116722	16 - 18		-0.0766667	0.116722
4 - 16	*	-0.35	0.116722	16 - 20		-0.0866667	0.116722
4 - 18	*	-0.426667	0.116722	18 - 20		-0.01	0.116722
4 - 20	*	-0.436667	0.116722				

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 18: Resultados estadísticos de la viscosidad plástica a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 3

ANOVA Simple - Viscosidad plástica por Tiempo

Tabla ANOVA para Viscosidad plástica por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.59396	10	0.159396	8.34	0.0000
Intra grupos	0.420467	22	0.0191121		
Total (Corr.)	2.01442	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para Viscosidad plástica por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	2.46667	X
2	3	2.85	X
4	3	2.91667	XX
6	3	3.02667	XX
14	3	3.03667	XXX
8	3	3.04	XXX
10	3	3.10333	XXX
12	3	3.14667	XXX
16	3	3.14667	XXX
18	3	3.27	XX
20	3	3.31	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	6 - 8		-0.0133333	0.234095
0 - 2	*	-0.383333	0.234095	6 - 10		-0.0766667	0.234095
0 - 4	*	-0.45	0.234095	6 - 12		-0.12	0.234095
0 - 6	*	-0.56	0.234095	6 - 14		-0.01	0.234095
0 - 8	*	-0.573333	0.234095	6 - 16		-0.12	0.234095
0 - 10	*	-0.636667	0.234095	6 - 18	*	-0.243333	0.234095
0 - 12	*	-0.68	0.234095	6 - 20	*	-0.283333	0.234095
0 - 14	*	-0.57	0.234095	8 - 10		-0.0633333	0.234095
0 - 16	*	-0.68	0.234095	8 - 12		-0.106667	0.234095
0 - 18	*	-0.803333	0.234095	8 - 14		0.00333333	0.234095
0 - 20	*	-0.843333	0.234095	8 - 16		-0.106667	0.234095
2 - 4		-0.0666667	0.234095	8 - 18		-0.23	0.234095
2 - 6		-0.176667	0.234095	8 - 20	*	-0.27	0.234095
2 - 8		-0.19	0.234095	10 - 12		-0.0433333	0.234095
2 - 10	*	-0.253333	0.234095	10 - 14		0.0666667	0.234095
2 - 12	*	-0.296667	0.234095	10 - 16		-0.0433333	0.234095
2 - 14		-0.186667	0.234095	10 - 18		-0.166667	0.234095
2 - 16	*	-0.296667	0.234095	10 - 20		-0.206667	0.234095
2 - 18	*	-0.42	0.234095	12 - 14		0.11	0.234095
2 - 20	*	-0.46	0.234095	12 - 16		0	0.234095
4 - 6		-0.11	0.234095	12 - 18		-0.123333	0.234095
4 - 8		-0.123333	0.234095	12 - 20		-0.163333	0.234095
4 - 10		-0.186667	0.234095	14 - 16		-0.11	0.234095
4 - 12		-0.23	0.234095	14 - 18		-0.233333	0.234095
4 - 14		-0.12	0.234095	14 - 20	*	-0.273333	0.234095
4 - 16		-0.23	0.234095	16 - 18		-0.123333	0.234095
4 - 18	*	-0.353333	0.234095	16 - 20		-0.163333	0.234095
4 - 20	*	-0.393333	0.234095	18 - 20		-0.04	0.234095

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 19: Resultados estadísticos de la viscosidad plástica a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 1, 2 y 3

ANOVA Multifactorial - Viscosidad plástica

Análisis de Varianza para Viscosidad plástica (Pa.s) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de refinado-conchado (h)	4.79311	10	0.479311	27.42	0.0000
B:LOTE	0.980152	2	0.490076	28.03	0.0000
RESIDUOS	1.50336	86	0.0174809		
TOTAL (CORREGIDO)	7.27662	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Viscosidad plástica por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo de refinado-conchado (h)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	2.31778	0.0440718	X
2	9	2.67	0.0440718	X
4	9	2.78111	0.0440718	XX
6	9	2.87	0.0440718	XX
10	9	2.91333	0.0440718	XX
12	9	2.97111	0.0440718	XXX
8	9	3.00444	0.0440718	XXX
14	9	3.01778	0.0440718	XXX
16	9	3.04444	0.0440718	XX
18	9	3.09111	0.0440718	XX
20	9	3.09889	0.0440718	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites				
				6 - 8	*	-0.134444	0.123902
				6 - 10		-0.0433333	0.123902
				6 - 12		-0.101111	0.123902
0 - 2	*	-0.352222	0.123902	6 - 14	*	-0.147778	0.123902
0 - 4	*	-0.463333	0.123902	6 - 16	*	-0.174444	0.123902
0 - 6	*	-0.552222	0.123902	6 - 18	*	-0.221111	0.123902
0 - 8	*	-0.686667	0.123902	6 - 20	*	-0.228889	0.123902
0 - 10	*	-0.595556	0.123902	8 - 10		0.0911111	0.123902
0 - 12	*	-0.653333	0.123902	8 - 12		0.0333333	0.123902
0 - 14	*	-0.7	0.123902	8 - 14		-0.0133333	0.123902
0 - 16	*	-0.726667	0.123902	8 - 16		-0.04	0.123902
0 - 18	*	-0.773333	0.123902	8 - 18		-0.0866667	0.123902
0 - 20	*	-0.781111	0.123902	8 - 20		-0.0944444	0.123902
2 - 4		-0.111111	0.123902	10 - 12		-0.0577778	0.123902
2 - 6	*	-0.2	0.123902	10 - 14		-0.104444	0.123902
2 - 8	*	-0.334444	0.123902	10 - 16	*	-0.131111	0.123902
2 - 10	*	-0.243333	0.123902	10 - 18	*	-0.177778	0.123902
2 - 12	*	-0.301111	0.123902	10 - 20	*	-0.185556	0.123902
2 - 14	*	-0.347778	0.123902	12 - 14		-0.0466667	0.123902
2 - 16	*	-0.374444	0.123902	12 - 16		-0.0733333	0.123902
2 - 18	*	-0.421111	0.123902	12 - 18		-0.12	0.123902
2 - 20	*	-0.428889	0.123902	12 - 20	*	-0.127778	0.123902
4 - 6		-0.0888889	0.123902	14 - 16		-0.0266667	0.123902
4 - 8	*	-0.223333	0.123902	14 - 18		-0.0733333	0.123902
4 - 10	*	-0.132222	0.123902	14 - 20		-0.0811111	0.123902
4 - 12	*	-0.19	0.123902	16 - 18		-0.0466667	0.123902
4 - 14	*	-0.236667	0.123902	16 - 20		-0.0544444	0.123902
4 - 16	*	-0.263333	0.123902	18 - 20		-0.0077778	0.123902
4 - 18	*	-0.31	0.123902				
4 - 20	*	-0.317778	0.123902				

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 20 : Resultados estadísticos del esfuerzo mínimo de fluencia a diferentes tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 1

ANOVA Simple – Esfuerzo mínimo de fluencia por Tiempo

Variable dependiente: Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)

Factor: Tiempo

Número de observaciones: 33

Número de niveles: 11

ANOVA Simple - Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Tabla ANOVA para Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	582.955	10	58.2955	58.72	0.0000
Intra grupos	21.8418	22	0.992809		
Total (Corr.)	604.797	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	4.57333	X
2	3	6.21	X
6	3	10.5	X
4	3	10.7	X
8	3	11.9333	X
10	3	14.3	X
12	3	15.5667	XX
18	3	16.5333	X
20	3	16.5667	X
16	3	16.9	X
14	3	17.0333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	6 - 8		-1.43333	1.68721
0 - 2		-1.63667	1.68721	6 - 10	*	-3.8	1.68721
0 - 4	*	-6.12667	1.68721	6 - 12	*	-5.06667	1.68721
0 - 6	*	-5.92667	1.68721	6 - 14	*	-6.53333	1.68721
0 - 8	*	-7.36	1.68721	6 - 16	*	-6.4	1.68721
0 - 10	*	-9.72667	1.68721	6 - 18	*	-6.03333	1.68721
0 - 12	*	-10.9933	1.68721	6 - 20	*	-6.06667	1.68721
0 - 14	*	-12.46	1.68721	8 - 10	*	-2.36667	1.68721
0 - 16	*	-12.3267	1.68721	8 - 12	*	-3.63333	1.68721
0 - 18	*	-11.96	1.68721	8 - 14	*	-5.1	1.68721
0 - 20	*	-11.9933	1.68721	8 - 16	*	-4.96667	1.68721
2 - 4	*	-4.49	1.68721	8 - 18	*	-4.6	1.68721
2 - 6	*	-4.29	1.68721	8 - 20	*	-4.63333	1.68721
2 - 8	*	-5.72333	1.68721	10 - 12		-1.26667	1.68721
2 - 10	*	-8.09	1.68721	10 - 14	*	-2.73333	1.68721
2 - 12	*	-9.35667	1.68721	10 - 16	*	-2.6	1.68721
2 - 14	*	-10.8233	1.68721	10 - 18	*	-2.23333	1.68721
2 - 16	*	-10.69	1.68721	10 - 20	*	-2.26667	1.68721
2 - 18	*	-10.3233	1.68721	12 - 14		-1.46667	1.68721
2 - 20	*	-10.3567	1.68721	12 - 16		-1.33333	1.68721
4 - 6		0.2	1.68721	12 - 18		-0.966667	1.68721
4 - 8		-1.23333	1.68721	12 - 20		-1.0	1.68721
4 - 10	*	-3.6	1.68721	14 - 16		0.133333	1.68721
4 - 12	*	-4.86667	1.68721	14 - 18		0.5	1.68721
4 - 14	*	-6.33333	1.68721	14 - 20		0.466667	1.68721
4 - 16	*	-6.2	1.68721	16 - 18		0.366667	1.68721
4 - 18	*	-5.83333	1.68721	16 - 20		0.333333	1.68721
4 - 20	*	-5.86667	1.68721	18 - 20		-0.0333333	1.68721

* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 21: Resultados estadísticos del esfuerzo mínimo de fluencia a diferentes
tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 2**

ANOVA Simple - Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Tabla ANOVA para Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	571.572	10	57.1572	262.90	0.0000
Intra grupos	4.783	22	0.217409		
Total (Corr.)	576.355	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	4.23667	X
2	3	8.77667	X
4	3	8.88333	X
6	3	11.5333	X
8	3	12.7667	X
10	3	14.5	X
14	3	15.7333	X
16	3	16.3333	XX
20	3	17.0333	XX
18	3	17.4	X
12	3	17.5333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites				
0 - 2	*	-4.54	0.789544	6 - 8	*	-1.23333	0.789544
0 - 4	*	-4.64667	0.789544	6 - 10	*	-2.96667	0.789544
0 - 6	*	-7.29667	0.789544	6 - 12	*	-6.0	0.789544
0 - 8	*	-8.53	0.789544	6 - 14	*	-4.2	0.789544
0 - 10	*	-10.2633	0.789544	6 - 16	*	-4.8	0.789544
0 - 12	*	-13.2967	0.789544	6 - 18	*	-5.86667	0.789544
0 - 14	*	-11.4967	0.789544	6 - 20	*	-5.5	0.789544
0 - 16	*	-12.0967	0.789544	8 - 10	*	-1.73333	0.789544
0 - 18	*	-13.1633	0.789544	8 - 12	*	-4.76667	0.789544
0 - 20	*	-12.7967	0.789544	8 - 14	*	-2.96667	0.789544
2 - 4		-0.106667	0.789544	8 - 16	*	-3.56667	0.789544
2 - 6	*	-2.75667	0.789544	8 - 18	*	-4.63333	0.789544
2 - 8	*	-3.99	0.789544	8 - 20	*	-4.26667	0.789544
2 - 10	*	-5.72333	0.789544	10 - 12	*	-3.03333	0.789544
2 - 12	*	-8.75667	0.789544	10 - 14	*	-1.23333	0.789544
2 - 14	*	-6.95667	0.789544	10 - 16	*	-1.83333	0.789544
2 - 16	*	-7.55667	0.789544	10 - 18	*	-2.9	0.789544
2 - 18	*	-8.62333	0.789544	10 - 20	*	-2.53333	0.789544
2 - 20	*	-8.25667	0.789544	12 - 14	*	1.8	0.789544
4 - 6	*	-2.65	0.789544	12 - 16	*	1.2	0.789544
4 - 8	*	-3.88333	0.789544	12 - 18		0.133333	0.789544
4 - 10	*	-5.61667	0.789544	12 - 20		0.5	0.789544
4 - 12	*	-8.65	0.789544	14 - 16		-0.6	0.789544
4 - 14	*	-6.85	0.789544	14 - 18	*	-1.66667	0.789544
4 - 16	*	-7.45	0.789544	14 - 20	*	-1.3	0.789544
4 - 18	*	-8.51667	0.789544	16 - 18	*	-1.06667	0.789544
4 - 20	*	-8.15	0.789544	16 - 20		-0.7	0.789544
				18 - 20		0.366667	0.789544

* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 22: Resultados estadísticos del esfuerzo mínimo de fluencia a diferentes
tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 3**

ANOVA Simple - Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Tabla ANOVA para Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1010.76	10	101.076	208.80	0.0000
Intra grupos	10.6495	22	0.48407		
Total (Corr.)	1021.41	32			

Pruebas de Múltiple Rangos para Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	4.89667	X
2	3	10.3333	X
4	3	13.8	X
6	3	16.4	X
8	3	18.1	X
10	3	19.2	X
14	3	21.5	X
12	3	21.5667	XX
18	3	22.3	XX
16	3	22.5667	XX
20	3	22.7333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites				
0 - 2	*	-5.43667	1.17813	6 - 8	*	-1.7	1.17813
0 - 4	*	-8.90333	1.17813	6 - 10	*	-2.8	1.17813
0 - 6	*	-11.5033	1.17813	6 - 12	*	-5.16667	1.17813
0 - 8	*	-13.2033	1.17813	6 - 14	*	-5.1	1.17813
0 - 10	*	-14.3033	1.17813	6 - 16	*	-6.16667	1.17813
0 - 12	*	-16.67	1.17813	6 - 18	*	-5.9	1.17813
0 - 14	*	-16.6033	1.17813	6 - 20	*	-6.33333	1.17813
0 - 16	*	-17.67	1.17813	8 - 10		-1.1	1.17813
0 - 18	*	-17.4033	1.17813	8 - 12	*	-3.46667	1.17813
0 - 20	*	-17.8367	1.17813	8 - 14	*	-3.4	1.17813
2 - 4	*	-3.46667	1.17813	8 - 16	*	-4.46667	1.17813
2 - 6	*	-6.06667	1.17813	8 - 18	*	-4.2	1.17813
2 - 8	*	-7.76667	1.17813	8 - 20	*	-4.63333	1.17813
2 - 10	*	-8.86667	1.17813	10 - 12	*	-2.36667	1.17813
2 - 12	*	-11.2333	1.17813	10 - 14	*	-2.3	1.17813
2 - 14	*	-11.1667	1.17813	10 - 16	*	-3.36667	1.17813
2 - 16	*	-12.2333	1.17813	10 - 18	*	-3.1	1.17813
2 - 18	*	-11.9667	1.17813	10 - 20	*	-3.53333	1.17813
2 - 20	*	-12.4	1.17813	12 - 14		0.066667	1.17813
4 - 6	*	-2.6	1.17813	12 - 16		-1.0	1.17813
4 - 8	*	-4.3	1.17813	12 - 18		-0.733333	1.17813
4 - 10	*	-5.4	1.17813	12 - 20		-1.16667	1.17813
4 - 12	*	-7.76667	1.17813	14 - 16		-1.06667	1.17813
4 - 14	*	-7.7	1.17813	14 - 18		-0.8	1.17813
4 - 16	*	-8.76667	1.17813	14 - 20	*	-1.23333	1.17813
4 - 18	*	-8.5	1.17813	16 - 18		0.266667	1.17813
4 - 20	*	-8.93333	1.17813	16 - 20		-0.166667	1.17813
				18 - 20		-0.433333	1.17813

* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 23: Resultados estadísticos del esfuerzo mínimo de fluencia a diferentes
tiempos de refinado-conchado de chocolate del Lote 1,2,3**

ANOVA Multifactorial - Esfuerzo de fluencia

Variable dependiente: Esfuerzo de fluencia (Pa)

Factores:

 Tiempo
 BLOQUE

Número de casos completos: 99

Análisis de Varianza para Esfuerzo de fluencia - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo	2085.63	10	208.563	153.40	0.0000
B:BLOQUE	468.038	2	234.019	172.12	0.0000
RESIDUOS	116.925	86	1.35959		
TOTAL (CORREGIDO)	2670.6	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Esfuerzo de fluencia por Tiempo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	9	4.56889	0.388671	X
2	9	8.44	0.388671	X
4	9	11.1278	0.388671	X
6	9	12.8111	0.388671	X
8	9	14.2667	0.388671	X
10	9	16.0	0.388671	X
14	9	18.0889	0.388671	X
12	9	18.2222	0.388671	X
16	9	18.6	0.388671	X
18	9	18.7444	0.388671	X
20	9	18.7778	0.388671	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>				
0 - 2	*	-3.87111	1.0927	6 - 8	*	-1.45556	1.0927
0 - 4	*	-6.55889	1.0927	6 - 10	*	-3.18889	1.0927
0 - 6	*	-8.24222	1.0927	6 - 12	*	-5.41111	1.0927
0 - 8	*	-9.69778	1.0927	6 - 14	*	-5.27778	1.0927
0 - 10	*	-11.4311	1.0927	6 - 16	*	-5.78889	1.0927
0 - 12	*	-13.6533	1.0927	6 - 18	*	-5.93333	1.0927
0 - 14	*	-13.52	1.0927	6 - 20	*	-5.96667	1.0927
0 - 16	*	-14.0311	1.0927	8 - 10	*	-1.73333	1.0927
0 - 18	*	-14.1756	1.0927	8 - 12	*	-3.95556	1.0927
0 - 20	*	-14.2089	1.0927	8 - 14	*	-3.82222	1.0927
2 - 4	*	-2.68778	1.0927	8 - 16	*	-4.33333	1.0927
2 - 6	*	-4.37111	1.0927	8 - 18	*	-4.47778	1.0927
2 - 8	*	-5.82667	1.0927	8 - 20	*	-4.51111	1.0927
2 - 10	*	-7.56	1.0927	10 - 12	*	-2.22222	1.0927
2 - 12	*	-9.78222	1.0927	10 - 14	*	-2.08889	1.0927
2 - 14	*	-9.64889	1.0927	10 - 16	*	-2.6	1.0927
2 - 16	*	-10.16	1.0927	10 - 18	*	-2.74444	1.0927
2 - 18	*	-10.3044	1.0927	10 - 20	*	-2.77778	1.0927
2 - 20	*	-10.3378	1.0927	12 - 14		0.133333	1.0927
4 - 6	*	-1.68333	1.0927	12 - 16		-0.377778	1.0927
4 - 8	*	-3.13889	1.0927	12 - 18		-0.522222	1.0927
4 - 10	*	-4.87222	1.0927	12 - 20		-0.555556	1.0927
4 - 12	*	-7.09444	1.0927	14 - 16		-0.511111	1.0927
4 - 14	*	-6.96111	1.0927	14 - 18		-0.655556	1.0927
4 - 16	*	-7.47222	1.0927	14 - 20		-0.688889	1.0927
4 - 18	*	-7.61667	1.0927	16 - 18		-0.144444	1.0927
4 - 20	*	-7.65	1.0927	16 - 20		-0.177778	1.0927
				18 - 20		-0.0333333	1.0927

**ANEXO 24: Modelo de regresión que relaciona el tamaño de partícula (micrómetro)
en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 1 (p<0,05)**

Regresión Simple - Tamaño Partícula micrómetro (um) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Tamaño Partícula micrómetro (um) (um)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Inversa-Y Raíz Cuadrada-X: $Y = 1/(a + b*\sqrt{X})$

Número de observaciones: 33

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.000915745	0.00104781	0.873963	0.3889
Pendiente	0.00807263	0.000331346	24.3631	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00356086	1	0.00356086	593.56	0.0000
Residuo	0.000185973	31	0.00000599912		
Total (Corr.)	0.00374683	32			

Coefficiente de Correlación = 0.974867

R-cuadrada = 95.0365 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 94.8764 por ciento

Error estándar del est. = 0.00244931

Error absoluto medio = 0.00183152

Estadístico Durbin-Watson = 1.77641 (P=0.2010)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.094548

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-inversa raíz cuadrada-X para describir la relación entre Tamaño Partícula micrómetro (um) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

Tamaño Partícula micrómetro (um) = $1/(0.000915745 + 0.00807263*\sqrt{\text{Tiempo de Refinado-conchado (h)}}$)

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.9749	95.04%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.9554	91.28%
Inversa de Y	0.9536	90.93%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.8592	73.83%
Exponencial	-0.8407	70.67%
Raíz Cuadrada de X	-0.8055	64.88%
Raíz Cuadrada de Y	-0.7349	54.01%
Log-Y Cuadrado-X	-0.6915	47.81%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.6642	44.12%
Lineal	-0.6288	39.54%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.5724	32.76%
Cuadrado de Y	-0.4828	23.31%
Cuadrado de X	-0.4651	21.63%
Cuadrado Doble	-0.3345	11.19%

**ANEXO 25: Modelo de regresión que relaciona el tamaño de partícula (micrómetro)
en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 2 (p<0,05)**

Regresión Simple - Tamaño Partícula micrómetro (um) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Tamaño Partícula micrómetro (um) (um)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Inversa-Y Raíz Cuadrada-X: $Y = 1/(a + b*\sqrt{X})$

Número de observaciones: 33

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.00385749	0.00117556	3.2814	0.0026
Pendiente	0.00890198	0.000371745	23.9464	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.0043301	1	0.0043301	573.43	0.0000
Residuo	0.000234087	31	0.00000755119		
Total (Corr.)	0.00456418	32			

Coefficiente de Correlación = 0.974019

R-cuadrada = 94.8712 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 94.7058 por ciento

Error estándar del est. = 0.00274794

Error absoluto medio = 0.00215071

Estadístico Durbin-Watson = 1.59543 (P=0.0846)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.19261

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-inversa raíz cuadrada-X para describir la relación entre Tamaño Partícula micrómetro (um) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Tamaño Partícula micrómetro (um)} = 1/(0.00385749 + 0.00890198*\sqrt{\text{Tiempo de Refinado-conchado (h)}})$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.9740	94.87%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.9320	86.86%
Inversa de Y	0.9246	85.49%
Exponencial	-0.8087	65.40%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.8041	64.66%
Raíz Cuadrada de X	-0.7901	62.43%
Raíz Cuadrada de Y	-0.7156	51.21%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.6575	43.22%
Log-Y Cuadrado-X	-0.6502	42.28%
Lineal	-0.6193	38.35%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.5500	30.25%
Cuadrado de Y	-0.4814	23.18%
Cuadrado de X	-0.4561	20.80%
Cuadrado Doble	-0.3345	11.19%

**ANEXO 26: Modelo de regresión que relaciona el tamaño de partícula (micrómetro)
en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 3 (p<0,05)**

Regresión Simple - Tamaño Partícula micrómetro (um) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Tamaño Partícula micrómetro (um) (um)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Inversa de Y: $Y = 1/(a + b*X)$

Número de observaciones: 33

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.011103	0.00160624	6.91246	0.0000
Pendiente	0.00287615	0.000135752	21.1868	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.0109194	1	0.0109194	448.88	0.0000
Residuo	0.000754096	31	0.0000243257		
Total (Corr.)	0.0116735	32			

Coefficiente de Correlación = 0.967161

R-cuadrada = 93.5401 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 93.3317 por ciento

Error estándar del est. = 0.00493211

Error absoluto medio = 0.00402364

Estadístico Durbin-Watson = 0.560359 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.662249

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Tamaño Partícula micrómetro (um) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Tamaño Partícula micrómetro (um)} = 1/(0.011103 + 0.00287615 * \text{Tiempo de Refinado-conchado (h)})$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Inversa de Y	0.9672	93.54%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.9655	93.22%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.8800	77.44%
Exponencial	-0.8558	73.24%
Raíz Cuadrada de X	-0.8390	70.39%
Raíz Cuadrada de Y	-0.7539	56.83%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.7458	55.63%
Log-Y Cuadrado-X	-0.7063	49.88%
Lineal	-0.6564	43.08%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.5873	34.50%
Cuadrado de Y	-0.5428	29.47%
Cuadrado de X	-0.4850	23.52%
Cuadrado Doble	-0.3760	14.14%

**ANEXO 27: Modelo de regresión que relaciona el tamaño de partícula (micrómetro)
en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 1,2,3 (p<0,05)**

Regresión Simple - Tamaño Partícula micrómetro (um) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Tamaño Partícula micrómetro (um) (um)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Log-Y Raíz Cuadrada-X: $Y = \exp(a + b*\sqrt{X})$

Número de observaciones: 99

Coefficientes

	<i>Minimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	5.20436	0.0736281	70.6844	0.0000
Pendiente	-0.532632	0.0232832	-22.8762	0.0000

NOTA: intercepto = ln(a)

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	46.505	1	46.505	523.32	0.0000
Residuo	8.61994	97	0.0888653		
Total (Corr.)	55.1249	98			

Coefficiente de Correlación = -0.918493

R-cuadrada = 84.3629 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 84.2017 por ciento

Error estándar del est. = 0.298103

Error absoluto medio = 0.247106

Estadístico Durbin-Watson = 0.301234 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.836669

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Tamaño Partícula micrómetro (um) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Tamaño Partícula micrómetro (um)} = \exp(5.20436 - 0.532632*\sqrt{\text{Tiempo de Refinado-conchado (h)}})$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.9185	84.36%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.8587	73.73%
Inversa de Y	0.8371	70.08%
Exponencial	-0.8070	65.13%
Raíz Cuadrada de X	-0.7923	62.78%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.7505	56.32%
Raíz Cuadrada de Y	-0.7211	52.00%
Log-Y Cuadrado-X	-0.6602	43.58%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.6322	39.97%
Lineal	-0.6197	38.40%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.5595	31.30%
Cuadrado de Y	-0.4606	21.21%
Cuadrado de X	-0.4576	20.94%
Cuadrado Doble	-0.3193	10.20%

ANEXO 28: Modelo de regresión que relaciona el tamaño de partícula (por análisis de imagen) en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 1 ($p < 0,05$)

Regresión Simple - Tamaño Partícula por imagen (um) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Tamaño Partícula por imagen (um) (um)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Raíz Cuadrada de X: $Y = a + b \cdot \sqrt{X}$

Número de observaciones: 33

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	181.669	6.52577	27.8387	0.0000
Pendiente	-28.6114	2.06363	-13.8646	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	44730.4	1	44730.4	192.23	0.0000
Residuo	7213.55	31	232.695		
Total (Corr.)	51944.0	32			

Coefficiente de Correlación = -0.92797

R-cuadrada = 86.1128 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 85.6648 por ciento

Error estándar del est. = 15.2544

Error absoluto medio = 12.3154

Estadístico Durbin-Watson = 1.49968 (P=0.0480)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.244231

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Tamaño Partícula por imagen (um) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Tamaño Partícula por imagen (um)} = 181.669 - 28.6114 \cdot \sqrt{\text{Tiempo de Refinado-conchado (h)}}$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Raíz Cuadrada de X	-0.9280	86.11%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.9213	84.88%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.9078	82.41%
Inversa de Y	0.8953	80.15%
Exponencial	-0.8917	79.52%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.8785	77.17%
Raíz Cuadrada de Y	-0.8759	76.71%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.8617	74.25%
Lineal	-0.8529	72.75%
Log-Y Cuadrado-X	-0.8104	65.67%
Cuadrado de Y	-0.7955	63.28%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.7732	59.79%
Cuadrado de X	-0.7319	53.57%
Cuadrado Doble	-0.6479	41.98%

ANEXO 29: Modelo de regresión que relaciona el tamaño de partícula (por análisis de imagen) en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 2 ($p < 0,05$)

Regresión Simple - Tamaño Partícula por imagen (um) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Tamaño Partícula por imagen (um) (um)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Inversa de Y: $Y = 1/(a + b \cdot X)$

Número de observaciones: 33

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.00672729	0.000413014	16.2883	0.0000
Pendiente	0.000382997	0.0000349061	10.9722	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.000193626	1	0.000193626	120.39	0.0000
Residuo	0.0000498584	31	0.00000160833		
Total (Corr.)	0.000243485	32			

Coefficiente de Correlación = 0.891757

R-cuadrada = 79.523 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.8625 por ciento

Error estándar del est. = 0.0012682

Error absoluto medio = 0.000998861

Estadístico Durbin-Watson = 2.12924 (P=0.5744)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.149633

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Tamaño Partícula por imagen (um) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Tamaño Partícula por imagen (um)} = 1/(0.00672729 + 0.000382997 \cdot \text{Tiempo de Refinado-conchado (h)})$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Inversa de Y	0.8918	79.52%
Exponencial	-0.8724	76.10%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.8611	74.15%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.8524	72.66%
Raíz Cuadrada de Y	-0.8500	72.25%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.8464	71.63%
Raíz Cuadrada de X	-0.8268	68.35%
Lineal	-0.8203	67.29%
Log-Y Cuadrado-X	-0.8142	66.30%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.7793	60.73%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.7760	60.22%
Cuadrado de Y	-0.7462	55.68%
Cuadrado de X	-0.7386	54.55%
Cuadrado Doble	-0.6477	41.95%

ANEXO 30: Modelo de regresión que relaciona el tamaño de partícula (por análisis de imagen) en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 3 ($p < 0,05$)

Regresión Simple - Tamaño Partícula por imagen (um) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Tamaño Partícula por imagen (um) (um)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Inversa de Y: $Y = 1/(a + b \cdot X)$

Número de observaciones: 33

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.00521324	0.000629374	8.28322	0.0000
Pendiente	0.000650635	0.0000531918	12.2319	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00055879	1	0.00055879	149.62	0.0000
Residuo	0.000115778	31	0.00000373476		
Total (Corr.)	0.000674567	32			

Coefficiente de Correlación = 0.910147

R-cuadrada = 82.8368 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.2831 por ciento

Error estándar del est. = 0.00193255

Error absoluto medio = 0.00149871

Estadístico Durbin-Watson = 1.2593 (P=0.0077)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.334234

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Tamaño Partícula por imagen (um) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Tamaño Partícula por imagen (um)} = 1 / (0.00521324 + 0.000650635 \cdot \text{Tiempo de Refinado-conchado (h)})$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Inversa de Y	0.9101	82.84%
Exponencial	-0.8985	80.73%
Raíz Cuadrada de Y	-0.8786	77.20%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.8759	76.71%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.8582	73.65%
Lineal	-0.8507	72.37%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.8501	72.27%
Log-Y Cuadrado-X	-0.8344	69.63%
Raíz Cuadrada de X	-0.8296	68.82%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.8012	64.19%
Cuadrado de Y	-0.7814	61.06%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.7748	60.04%
Cuadrado de X	-0.7618	58.04%
Cuadrado Doble	-0.6768	45.81%

ANEXO 31: Modelo de regresión que relaciona el tamaño de partícula (por análisis de imagen) en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 1,2,3 (p<0,05)

Regresión Simple - Tamaño Partícula por imagen (um) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Tamaño Partícula por imagen (um) (um)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Inversa de Y: $Y = 1/(a + b*X)$

Número de observaciones: 99

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.00601032	0.000349528	17.1955	0.0000
Pendiente	0.000525427	0.0000295405	17.7866	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00109325	1	0.00109325	316.36	0.0000
Residuo	0.000335199	97	0.00000345566		
Total (Corr.)	0.00142845	98			

Coefficiente de Correlación = 0.874837

R-cuadrada = 76.534 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 76.2921 por ciento

Error estándar del est. = 0.00185894

Error absoluto medio = 0.00151252

Estadístico Durbin-Watson = 1.17557 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.407331

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Tamaño Partícula por imagen (um) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Tamaño Partícula por imagen (um)} = 1/(0.00601032 + 0.000525427 * \text{Tiempo de Refinado-conchado (h)})$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Inversa de Y	0.8748	76.53%
Exponencial	-0.8737	76.33%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.8625	74.39%
Raíz Cuadrada de Y	-0.8570	73.45%
Raíz Cuadrada de X	-0.8493	72.14%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.8426	71.00%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.8346	69.65%
Lineal	-0.8314	69.12%
Log-Y Cuadrado-X	-0.8065	65.04%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.8049	64.79%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.7742	59.93%
Cuadrado de Y	-0.7636	58.31%
Cuadrado de X	-0.7351	54.03%
Cuadrado Doble	-0.6485	42.06%

ANEXO 32: Modelo de regresión que relaciona la viscosidad en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 1 ($p < 0,05$)

Regresión Polinomial - Viscosidad plástica (Pa.s) versus Tiempo de refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Viscosidad plástica (Pa.s)

Variable independiente: Tiempo de refinado-conchado (h)

Orden del polinomio = 2

Número de observaciones: 33

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	2.45177	0.0585646	41.8644	0.0000
Tiempo de refinado-conchado (h)	0.0700004	0.0136239	5.13807	0.0000
Tiempo de refinado-conchado (h) ²	-0.0024932	0.000656086	-3.80011	0.0007

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.791226	2	0.395613	22.32	0.0000
Residual	0.531828	30	0.0177276		
Total (Corr.)	1.32305	32			

R-cuadrada = **59.803** por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = **57.1232** por ciento

Error estándar del est. = **0.133145**

Error absoluto medio = **0.101155**

Estadístico Durbin-Watson = 1.19902 (P=**0.0023**)

Autocorrelación de residuos lag 1 = 0.397635

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo polinomial de segundo orden para describir la relación entre Viscosidad plástica (Pa.s) y Tiempo de refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

Viscosidad plástica (Pa.s) = 2.45177 + 0.0700004*Tiempo de refinado-conchado (h) - 0.0024932*Tiempo de refinado-conchado (h)²

Comparación de Modelos Alternos (Regresión lineal)

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	-0.7617	58.02%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.7472	55.83%
Raíz Cuadrada Doble	0.7392	54.64%
Raíz Cuadrada de X	0.7307	53.40%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.7125	50.77%
Inversa de Y	-0.6573	43.21%
Exponencial	0.6475	41.93%
Raíz Cuadrada de Y	0.6420	41.22%
Lineal	0.6360	40.45%
Cuadrado de Y	0.6229	38.79%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.5079	25.79%
Log-Y Cuadrado-X	0.5018	25.18%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.4982	24.82%
Cuadrado de X	0.4943	24.43%
Cuadrado Doble	0.4854	23.56%

ANEXO 33: Modelo de regresión que relaciona la viscosidad en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 2 ($p < 0,05$)

Regresión Simple - Viscosidad plástica (Pa.s) vs. Tiempo de refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Viscosidad plástica (Pa.s)

Variable independiente: Tiempo de refinado-conchado (h)

Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X: $Y = \sqrt{a + b \cdot \sqrt{X}}$

Número de observaciones: 33

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	4.79505	0.227122	21.1123	0.0000
Pendiente	1.15551	0.0718222	16.0885	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	72.9582	1	72.9582	258.84	0.0000
Residuo	8.73784	31	0.281866		
Total (Corr.)	81.696	32			

Coefficiente de Correlación = 0.94501

R-cuadrada = 89.3045 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 88.9594 por ciento

Error estándar del est. = 0.53091

Error absoluto medio = 0.400977

Estadístico Durbin-Watson = 1.51109 (P=0.0515)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.231856

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-cuadrada raíz cuadrada-X model para describir la relación entre Viscosidad plástica (Pa.s) y Tiempo de refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Viscosidad plástica (Pa.s)} = \sqrt{4.79505 + 1.15551 \cdot \sqrt{\text{Tiempo de refinado-conchado (h)}}}$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.9450	89.30%
Raíz Cuadrada de X	0.9395	88.27%
Raíz Cuadrada Doble	0.9351	87.44%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.9296	86.42%
Cuadrado de Y	0.8653	74.87%
Lineal	0.8432	71.11%
Raíz Cuadrada de Y	0.8307	69.01%
Exponencial	0.8173	66.79%
Inversa de Y	-0.7882	62.12%
Cuadrado Doble	0.7472	55.83%
Cuadrado de X	0.7160	51.26%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.6991	48.88%
Log-Y Cuadrado-X	0.6816	46.46%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.6453	41.64%

ANEXO 34: Modelo de regresión que relaciona la viscosidad en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 3 ($p < 0,05$)

Regresión Simple - Viscosidad plástica (Pa.s) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Viscosidad plástica (Pa.s) (Pa.s)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Log-Y Raíz Cuadrada-X: $Y = \exp(a + b \cdot \sqrt{X})$

Número de observaciones: 33

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.94155	0.0189732	49.6252	0.0000
Pendiente	0.0564401	0.00599986	9.4069	0.0000

NOTA: intercepto = $\ln(a)$

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.17406	1	0.17406	88.49	0.0000
Residuo	0.0609772	31	0.00196701		
Total (Corr.)	0.235037	32			

Coefficiente de Correlación = 0.86056

R-cuadrada = 74.0564 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 73.2195 por ciento

Error estándar del est. = 0.044351

Error absoluto medio = 0.0322532

Estadístico Durbin-Watson = 1.94866 (P=0.3688)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0507839

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Viscosidad plástica (Pa.s) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Viscosidad plástica (Pa.s)} = \exp(0.94155 + 0.0564401 \cdot \sqrt{\text{Tiempo de Refinado-conchado (h)}})$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.8606	74.06%
Raíz Cuadrada Doble	0.8574	73.52%
Raíz Cuadrada de X	0.8536	72.86%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.8437	71.19%
Cuadrado de Y	0.7855	61.70%
Lineal	0.7811	61.02%
Raíz Cuadrada de Y	0.7779	60.52%
Exponencial	0.7740	59.91%
Inversa de Y	-0.7643	58.42%
Cuadrado Doble	0.7029	49.41%
Cuadrado de X	0.6875	47.27%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.6789	46.10%
Log-Y Cuadrado-X	0.6699	44.87%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.6503	42.29%

ANEXO 35: Modelo de regresión que relaciona la viscosidad en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 1, 2, 3 ($p < 0,05$)

Regresión Simple - Viscosidad plástica (Pa.s) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Viscosidad plástica (Pa.s)

Variable independiente: Tiempo de refinado-conchado (h)

Log-Y Raíz Cuadrada-X: $Y = \exp(a + b \cdot \sqrt{X})$

Número de observaciones: 99

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.880543	0.0151307	58.1956	0.0000
Pendiente	0.0608181	0.00478476	12.7108	0.0000

NOTA: intercepto = $\ln(a)$

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.606333	1	0.606333	161.56	0.0000
Residuo	0.364031	97	0.00375289		
Total (Corr.)	0.970364	98			

Coefficiente de Correlación = 0.790475

R-cuadrada = 62.4851 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 62.0984 por ciento

Error estándar del est. = 0.0612609

Error absoluto medio = 0.0487187

Estadístico Durbin-Watson = 0.71723 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.637341

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Viscosidad plástica (Pa.s) y Tiempo de refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Viscosidad plástica (Pa.s)} = \exp(0.880543 + 0.0608181 \cdot \sqrt{\text{Tiempo de refinado-conchado (h)}})$$

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.7905	62.49%
Raíz Cuadrada Doble	0.7886	62.19%
Raíz Cuadrada de X	0.7851	61.64%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.7739	59.89%
Cuadrado de Y	0.7055	49.77%
Lineal	0.7043	49.61%
Raíz Cuadrada de Y	0.7017	49.24%
Exponencial	0.6976	48.67%
Inversa de Y	-0.6849	46.91%
Cuadrado Doble	0.6043	36.52%
Cuadrado de X	0.5941	35.30%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.5873	34.50%
Log-Y Cuadrado-X	0.5794	33.57%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.5600	31.35%

ANEXO 36: Modelo de regresión que relaciona el esfuerzo mínimo de fluencia en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 1 ($p < 0,05$)

Regresión Polinomial - Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) versus Tiempo de refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)

Variable independiente: Tiempo de refinado-conchado (h)

Orden del polinomio = 2

Número de observaciones: 33

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	4.32606	0.490743	8.81533	0.0000
Tiempo de refinado-conchado (h)	1.37679	0.114161	12.06	0.0000
Tiempo de refinado-conchado (h) ²	-0.037803	0.00549768	-6.87618	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	567.454	2	283.727	227.94	0.0000
Residual	37.3429	30	1.24476		
Total (Corr.)	604.797	32			

R-cuadrada = 93.8255 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93.4139 por ciento

Error estándar del est. = 1.11569

Error absoluto medio = 0.754979

Estadístico Durbin-Watson = 1.75677 (P=0.1365)

Autocorrelación de residuos lag 1 = 0.115881

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo polinomial de segundo orden para describir la relación entre Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) y Tiempo de refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) = 4.32606 + 1.37679*Tiempo de refinado-conchado (h) - 0.037803*Tiempo de refinado-conchado (h)²

ANEXO 37: Modelo de regresión que relaciona el esfuerzo mínimo de fluencia en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 2 (p<0,05)

Regresión Polinomial - Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) versus Tiempo de refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)
 Variable independiente: Tiempo de refinado-conchado (h)
 Orden del polinomio = 2
 Número de observaciones: 33

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	4.78683	0.419086	11.4221	0.0000
Tiempo de refinado-conchado (h)	1.36901	0.0974917	14.0423	0.0000
Tiempo de refinado-conchado (h)^2	-0.0379973	0.00469492	-8.09327	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	549.122	2	274.561	302.45	0.0000
Residual	27.2337	30	0.90779		
Total (Corr.)	576.355	32			

R-cuadrada = **95.2748** por ciento
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = **94.9598** por ciento
 Error estándar del est. = **0.95278**
 Error absoluto medio = **0.68483**
 Estadístico Durbin-Watson = 1.22595 (P=**0.0030**)
 Autocorrelación de residuos lag 1 = 0.378654

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo polinomial de segundo orden para describir la relación entre Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) y Tiempo de refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)} = 4.78683 + 1.36901 * \text{Tiempo de refinado-conchado (h)} - 0.0379973 * \text{Tiempo de refinado-conchado (h)}^2$$

ANEXO 38: Modelo de regresión que relaciona el esfuerzo mínimo de fluencia en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 3 (p<0,05)

Regresión Polinomial - Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) versus Tiempo de refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)
 Variable independiente: Tiempo de refinado-conchado (h)
 Orden del polinomio = 2
 Número de observaciones: 33

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	5.9948	0.388597	15.4268	0.0000
Tiempo de refinado-conchado (h)	1.98479	0.0903992	21.9558	0.0000
Tiempo de refinado-conchado (h)^2	-0.0590084	0.00435337	-13.5546	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	997.99	2	498.995	639.32	0.0000
Residual	23.4153	30	0.780511		
Total (Corr.)	1021.41	32			

R-cuadrada = **97.7075** por ciento
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = **97.5547** por ciento
 Error estándar del est. = **0.883465**
 Error absoluto medio = **0.654609**
 Estadístico Durbin-Watson = 1.47343 (P=**0.0255**)
 Autocorrelación de residuos lag 1 = 0.242444

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo polinomial de segundo orden para describir la relación entre Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) y Tiempo de refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)} = 5.9948 + 1.98479 * \text{Tiempo de refinado-conchado (h)} - 0.0590084 * \text{Tiempo de refinado-conchado (h)}^2$$

ANEXO 39: Modelo de regresión que relaciona el esfuerzo mínimo de fluencia en función del tiempo de refinado-conchado del Lote 1,2,3 (p<0,05)

Regresión Simple - Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) vs. Tiempo de Refinado-conchado (h)

Variable dependiente: Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) (Pa)

Variable independiente: Tiempo de Refinado-conchado (h) (hr)

Log-Y Raíz Cuadrada-X: $Y = \exp(a + b*\sqrt{X})$

Número de observaciones: 99

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	1.66864	0.046626	35.7877	0.0000
Pendiente	0.318829	0.0147444	21.6237	0.0000

NOTA: intercepto = ln(a)

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	16.6633	1	16.6633	467.58	0.0000
Residuo	3.45679	97	0.035637		
Total (Corr.)	20.1201	98			

Coefficiente de Correlación = 0.910051

R-cuadrada = 82.8192 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.6421 por ciento

Error estándar del est. = 0.188778

Error absoluto medio = 0.153233

Estadístico Durbin-Watson = 0.259971 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.868612

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo para describir la relación entre Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) y Tiempo de Refinado-conchado (h). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)} = \exp(1.66864 + 0.318829*\sqrt{\text{Tiempo de Refinado-conchado (h)}})$$

Las cotas internas muestran los límites de 95.0% de confianza para la media de Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa) de muchas observaciones en valores dados de Tiempo de Refinado-conchado (h). Las cotas externas muestran los límites de 95.0% de predicción para nuevas observaciones.

Comparación de Modelos Alternos

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.9101	82.82%
Raíz Cuadrada Doble	0.8978	80.61%
Raíz Cuadrada de X	0.8715	75.94%
Raíz Cuadrada de Y	0.8281	68.58%
Lineal	0.8258	68.19%
Exponencial	0.8149	66.41%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.7934	62.95%
Cuadrado de Y	0.7859	61.76%
Inversa de Y	-0.7487	56.05%
Cuadrado de X	0.7131	50.85%
Cuadrado Doble	0.7042	49.59%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.6994	48.92%
Log-Y Cuadrado-X	0.6717	45.12%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.5855	34.28%

ANEXO 40: Datos de análisis descriptivo cuantitativo (Perfil sensorial) del chocolate refinado a las 12 y 20 h

Juez	Tiempo de Refinado-conchado (h)	Ca-cao	Dul-ce	Nuez	Floral	Frutal	Acidez	Astrin-gencia	Amar-gor	Impresión Global
1	12	4	3	3	2	3	2	1	2	6
1	12	4	3	2	1	2	2	1	1	4
1	12	5	2	3	0	2	4	2	3	5
2	12	4	4	2	1	2	2	2	1	4
2	12	3	4	2	2	3	1	1	2	5
2	12	4	3	3	2	1	2	2	2	5
3	12	5	3	2	1	2	2	3	2	5
3	12	4	5	2	1	1	1	2	2	5
3	12	5	3	2	1	2	3	3	3	5
4	12	5	4	0	1	5	4	1	2	4
4	12	5	4	1	2	3	4	1	2	6
4	12	4	3	1	1	1	4	3	4	5
5	12	6	4	2	1	2	1	1	1	5
5	12	5	4	2	1	3	2	1	1	5
5	12	6	3	1	1	2	2	1	2	8
6	12	5	5	2	1	4	2	4	3	5
6	12	3	4	3	1	3	2	2	1	4
6	12	5	4	3	1	4	3	3	3	6
7	12	6	4	2	1	3	2	2	1	6
7	12	6	4	2	2	2	3	2	1	5
7	12	5	3	2	1	3	1	3	2	4
1	20	5	3	3	1	3	3	2	3	6
1	20	5	3	2	0	2	3	3	3	4
1	20	4	2	2	0	2	3	3	2	4
2	20	2	3	3	2	2	2	2	2	5
2	20	2	4	3	1	2	1	3	2	4
2	20	5	2	4	2	2	3	2	3	2
3	20	3	7	2	1	3	2	2	1	3
3	20	4	3	2	1	2	2	2	1	5
3	20	4	3	2	0	3	2	2	2	5
4	20	5	4	2	3	4	3	1	2	6
4	20	4	5	2	2	3	4	1	1	6
4	20	5	5	0	2	4	3	2	3	4
5	20	5	4	1	1	2	1	0	1	5
5	20	7	4	3	1	3	1	0	1	9
5	20	5	4	2	1	3	1	0	1	9
6	20	5	5	3	1	4	3	2	2	5
6	20	3	5	3	2	4	2	2	1	4
6	20	5	5	4	1	5	1	2	3	6
7	20	5	4	2	2	3	1	1	1	6
7	20	5	4	2	2	2	2	2	1	5
7	20	5	4	2	2	3	2	2	1	5

ANEXO 41: Resultados estadísticos de la evaluación sensorial descriptiva cuantitativa de chocolate refinado a las 12 y 20 h

Comparación de Dos Muestras - Puntaje D.cacao (12 h) & Puntaje D.cacao (20 h)

Muestra 1: Puntaje D.cacao (12 h)

Muestra 2: Puntaje D.cacao (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 3.0 a 6.0

Muestra 2: 21 valores en el rango de 2.0 a 7.0

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje D.cacao (12 h)</i>	<i>Puntaje D.cacao (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	4.71429	4.42857
Desviación Estándar	0.902378	1.16496
Coefficiente de Variación	19.1413%	26.3057%
Mínimo	3.0	2.0
Máximo	6.0	7.0
Rango	3.0	5.0
Sesgo Estandarizado	-0.499641	-1.01693
Curtosis Estandarizada	-0.440197	0.938478

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.cacao (12 h): 4.71429 +/- 0.410758 [4.30353; 5.12504]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.cacao (20 h): 4.42857 +/- 0.530287 [3.89828; 4.95886]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 0.285714 +/- 0.6499 [-0.364186; 0.935614]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = 0.888523 valor-P = 0.379571

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Puntaje D.dulce (12 h) & Puntaje D.dulce (20 h)

Muestra 1: Puntaje D.dulce (12 h)

Muestra 2: Puntaje D.dulce (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 2.0 a 5.0

Muestra 2: 21 valores en el rango de 2.0 a 7.0

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje D.dulce (12 h)</i>	<i>Puntaje D.dulce (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	3.61905	3.95238
Desviación Estándar	0.740013	1.16087
Coefficiente de Variación	20.4477%	29.3714%
Mínimo	2.0	2.0
Máximo	5.0	7.0
Rango	3.0	5.0
Sesgo Estandarizado	-0.0821489	0.981571
Curtosis Estandarizada	-0.0101629	1.08269

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.dulce (12 h): 3.61905 +/- 0.336851 [3.2822;

3.9559]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.dulce (20 h): 3.95238 +/- 0.528423 [3.42396; 4.4808]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias
suponiendo varianzas iguales: -0.333333 +/- 0.607163 [-0.940497; 0.27383]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = -1.10957 valor-P = 0.273809

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Puntaje D. nuez (12 h) & Puntaje D. nuez (20 h)

Muestra 1: Puntaje D. nuez (12 h)

Muestra 2: Puntaje D. nuez (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 0 a 3.0

Muestra 2: 21 valores en el rango de 0 a 4.0

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje D. nuez (12 h)</i>	<i>Puntaje D. nuez (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	2.0	2.33333
Desviación Estándar	0.774597	0.912871
Coefficiente de Variación	38.7298%	39.123%
Mínimo	0	0
Máximo	3.0	4.0
Rango	3.0	4.0
Sesgo Estandarizado	-1.33473	-0.604031
Curtosis Estandarizada	0.929944	1.22648

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D. nuez (12 h): 2.0 +/- 0.352593 [1.64741; 2.35259]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D. nuez (20 h): 2.33333 +/- 0.415535 [1.9178; 2.74887]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias
suponiendo varianzas iguales: -0.333333 +/- 0.528016 [-0.86135; 0.194683]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = -1.27589 valor-P = 0.209352

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Puntaje D.floral (12 h) & Puntaje D.floral (20 h)

Muestra 1: Puntaje D.floral (12 h)

Muestra 2: Puntaje D.floral (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 0 a 2.0

Muestra 2: 21 valores en el rango de 0 a 3.0

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje D.floral (12 h)</i>	<i>Puntaje D.floral (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	1.19048	1.33333
Desviación Estándar	0.511766	0.795822
Coefficiente de Variación	42.9884%	59.6867%

Mínimo	0	0
Máximo	2.0	3.0
Rango	2.0	3.0
Sesgo Estandarizado	0.66466	-0.0911672
Curtosis Estandarizada	0.563934	-0.30685

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.floral (12 h): 1.19048 +/- 0.232954 [0.957522; 1.42343]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.floral (20 h): 1.33333 +/- 0.362255 [0.971079; 1.69559]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -0.142857 +/- 0.417295 [-0.560152; 0.274438]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = -0.691898 valor-P = 0.492998

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Puntaje D.frutal (12 h) & Puntaje D.frutal (20 h)

Muestra 1: Puntaje D.frutal (12 h)

Muestra 2: Puntaje D.frutal (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 1.0 a 5.0

Muestra 2: 21 valores en el rango de 2.0 a 5.0

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje D.frutal (12 h)</i>	<i>Puntaje D.frutal (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	2.52381	2.90476
Desviación Estándar	1.03049	0.889087
Coefficiente de Variación	40.8306%	30.6079%
Mínimo	1.0	2.0
Máximo	5.0	5.0
Rango	4.0	3.0
Sesgo Estandarizado	1.00222	1.25559
Curtosis Estandarizada	0.316636	-0.209357

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.frutal (12 h): 2.52381 +/- 0.469073 [2.05474; 2.99288]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.frutal (20 h): 2.90476 +/- 0.404709 [2.50005; 3.30947]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -0.380952 +/- 0.600259 [-0.981212; 0.219307]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = -1.28267 valor-P = 0.206991

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Puntaje D.acidez (12 h) & Puntaje D.acidez (20 h)

Muestra 1: Puntaje D.acidez (12 h)

Muestra 2: Puntaje D.acidez (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 1.0 a 4.0
 Muestra 2: 21 valores en el rango de 1.0 a 4.0

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje D.acidez (12 h)</i>	<i>Puntaje D.acidez (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	2.33333	2.14286
Desviación Estándar	1.01653	0.910259
Coefficiente de Variación	43.5656%	42.4788%
Mínimo	1.0	1.0
Máximo	4.0	4.0
Rango	3.0	3.0
Sesgo Estandarizado	0.940513	0.25178
Curtosis Estandarizada	-0.665482	-0.897422

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.acidez (12 h): 2.33333 +/- 0.46272 [1.87061; 2.79605]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.acidez (20 h): 2.14286 +/- 0.414346 [1.72851; 2.5572]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 0.190476 +/- 0.6018 [-0.411324; 0.792277]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

suponiendo varianzas iguales: t = 0.639693 valor-P = 0.526019

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Comparación de Dos Muestras - Puntaje D.astringencia (12 h) & Puntaje D.astringencia (20 h)

Muestra 1: Puntaje D.astringencia (12 h)

Muestra 2: Puntaje D.astringencia (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 1.0 a 4.0

Muestra 2: 21 valores en el rango de 0 a 3.0

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para comparar dos muestras de datos. Calculará varias estadísticas y gráficas para cada muestra, y ejecutará varias pruebas para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras.

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje D.astringencia (12 h)</i>	<i>Puntaje D.astringencia (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	1.95238	1.71429
Desviación Estándar	0.920662	0.902378
Coefficiente de Variación	47.1559%	52.6387%
Mínimo	1.0	0
Máximo	4.0	3.0
Rango	3.0	3.0
Sesgo Estandarizado	0.983578	-1.34386
Curtosis Estandarizada	-0.627819	0.0498536

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.astringencia (12 h): 1.95238 +/- 0.419081

[1.5333; 2.37146]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.astringencia (20 h): 1.71429 +/- 0.410758
[1.30353; 2.12504]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias
suponiendo varianzas iguales: 0.238095 +/- 0.568561 [-0.330465; 0.806656]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 < \mu_2$

suponiendo varianzas iguales: $t = 0.846364$ valor-P = 0.402385

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Comparación de Dos Muestras - Puntaje D.amargor (12 h) & Puntaje D.amargor (20 h)

Muestra 1: Puntaje D.amargor (12 h)

Muestra 2: Puntaje D.amargor (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 1.0 a 4.0

Muestra 2: 21 valores en el rango de 1.0 a 3.0

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje D.amargor (12 h)</i>	<i>Puntaje D.amargor (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	1.95238	1.7619
Desviación Estándar	0.86465	0.830949
Coefficiente de Variación	44.2869%	47.162%
Mínimo	1.0	1.0
Máximo	4.0	3.0
Rango	3.0	2.0
Sesgo Estandarizado	1.14168	0.927543
Curtosis Estandarizada	-0.0994074	-1.27606

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.amargor (12 h): 1.95238 +/- 0.393585
[1.5588; 2.34597]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje D.amargor (20 h): 1.7619 +/- 0.378244
[1.38366; 2.14015]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias
suponiendo varianzas iguales: 0.190476 +/- 0.528893 [-0.338416; 0.719369]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 < \mu_2$

suponiendo varianzas iguales: $t = 0.727875$ valor-P = 0.47093

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Comparación de Dos Muestras - Puntaje Impresión global (12 h) & Puntaje Impresión global (20 h)

Muestra 1: Puntaje Impresión global (12 h)

Muestra 2: Puntaje Impresión global (20 h)

Muestra 1: 21 valores en el rango de 4.0 a 8.0

Muestra 2: 21 valores en el rango de 2.0 a 9.0

Resumen Estadístico

	<i>Puntaje Impresión global (12 h)</i>	<i>Puntaje Impresión global (20 h)</i>
Recuento	21	21
Promedio	5.09524	5.14286

Desviación Estándar	0.94365	1.65184
Coefficiente de Variación	18.5202%	32.1191%
Mínimo	4.0	2.0
Máximo	8.0	9.0
Rango	4.0	7.0
Sesgo Estandarizado	2.57067	1.5954
Curtosis Estandarizada	3.17741	1.57682

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje Impresión global (12 h): 5.09524 +/- 0.429545
[4.66569; 5.52478]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Puntaje Impresión global (20 h): 5.14286 +/- 0.75191
[4.39095; 5.89477]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias
suponiendo varianzas iguales: -0.047619 +/- 0.839017 [-0.886636; 0.791398]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = -0.114708 valor-P = 0.909251

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

**ANEXO 42: Resultados de las propiedades físicas del chocolate oscuro refinado-
conchado a 16 h**

Propiedad física	Unidad	Lote	Repetición	Resultado
Tamaño de partícula	μm	1	1	27,00
		1	2	26,00
		1	3	25,00
D ₉₀	μm	1	1	74,57
		1	2	78,56
		1	3	77,24
Viscosidad plástica (η_{CA})	Pa.s	1	1	2,98
		1	2	3,04
		1	3	2,94
Esfuerzo mínimo de fluencia (τ_{CA})	Pa	1	1	17,60
		1	2	17,60
		1	3	17,80
Tamaño de partícula	μm	2	1	27,00
		2	2	25,00
		2	3	25,00
D ₉₀	μm	2	1	69,67
		2	2	66,87
		2	3	70,50
Viscosidad plástica (η_{CA})	Pa.s	2	1	3,20
		2	2	3,16
		2	3	3,24
Esfuerzo mínimo de fluencia (τ_{CA})	Pa	2	1	18,20
		2	2	17,90
		2	3	17,60

ANEXO 43: Resultados de la validación de propiedades físicas del chocolate refinado-conchado a las 16 h

Valores observados

Lote	Tiempo de Refinado-conchado (h)	Tamaño de partícula (um) x Análisis de Imagen	Tamaño de Partícula (um) x Micrometro	Viscosidad Plástica (Pa.s)	Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)
1	16	74.57	27	2.98	17.6
1	16	78.56	26	3.04	17.6
1	16	77.24	25	2.94	17.8
2	16	69.67	27	3.2	18.2
2	16	66.87	25	3.16	17.9
2	16	70.5	25	3.24	17.6

Valores esperados

Lote	Tiempo de Refinado-conchado (h)	Tamaño de partícula x analisis de imagen	Tamaño de partícula (micras)	Viscosidad Plástica (Pa.s)	Esfuerzo mínimo de fluencia (Pa)
1	16	70.15	30	3.23	18.5
1	16	77.95	34	2.9	16.7
1	16	79.7	29	2.75	15.5
2	16	81.57	25	2.99	16.2
2	16	79.51	27	3.03	16
2	16	85.51	25	3.06	16.8

Viscosidad Plástica	Valor esperado - Valor experimental	Valor esperado	(valor esperado-valor experimental/valor esperado)	1-(ve-vex/ve)
1	0.25	3.23	0.07739938	0.92260062
1	-0.14	2.90	-0.04827586	0.95172414
1	-0.19	2.75	-0.06909091	0.93090909
2	-0.21	2.99	-0.07023411	0.92976589
2	-0.13	3.03	-0.04290429	0.95709571
2	-0.18	3.06	-0.05882353	0.94117647

Esfuerzo minimo de fluencia	Valor esperado- Valor experimental	Valor esperado	(valor esperado-valor experimental/valor esperado)	1-(ve-vex/ve)
1	0.90	18.50	0.04864865	0.95135135
1	-0.90	16.70	-0.05389222	0.94610778
1	-2.30	15.50	-0.1483871	0.8516129
2	-2.00	16.20	-0.12345679	0.87654321
2	-1.90	16.00	-0.11875	0.88125
2	-0.80	16.80	-0.04761905	0.95238095

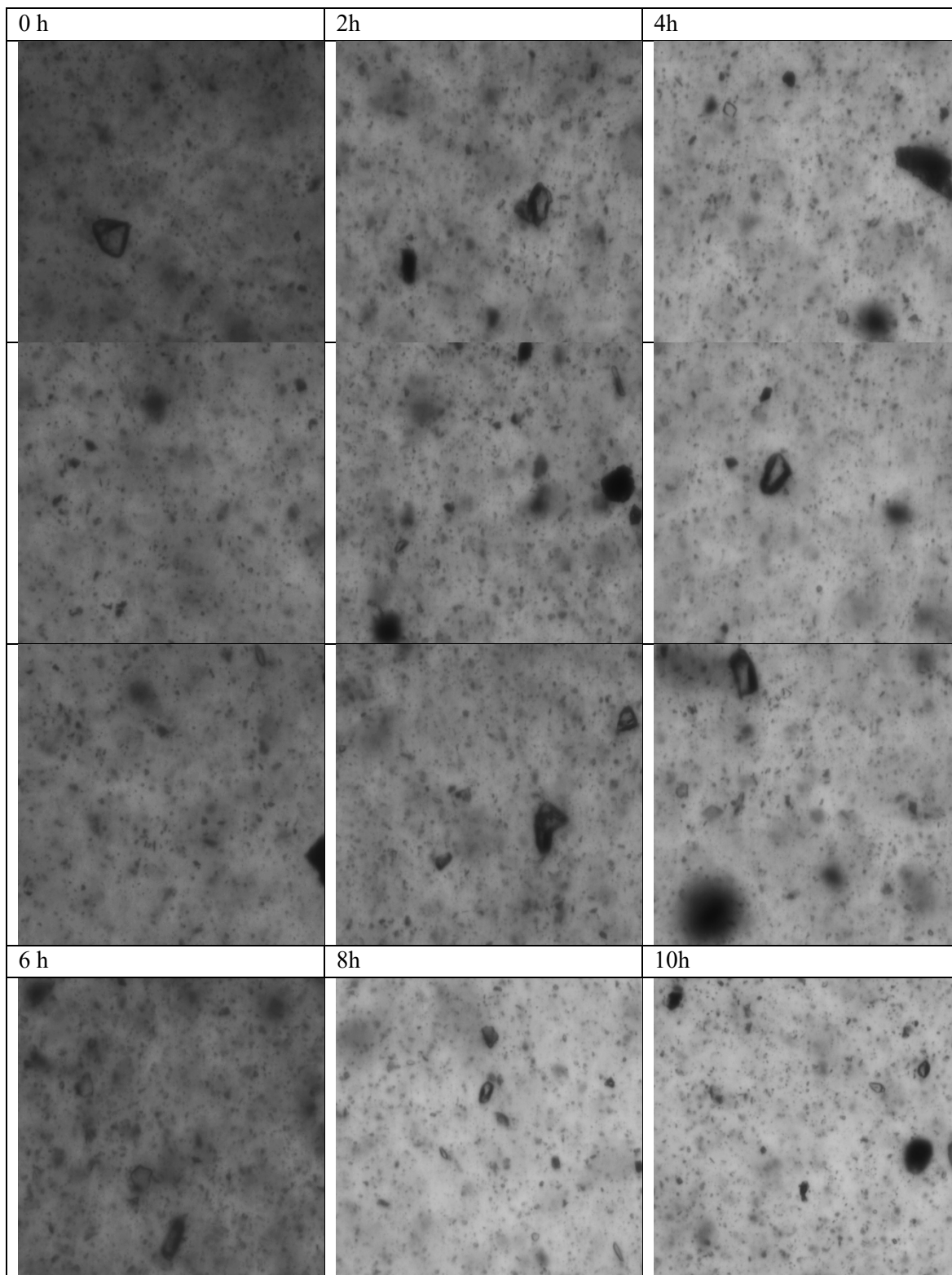
Tamaño de partícula (Micrometría)	Valor esperado- Valor experimental	Valor esperado	(valor esperado-valor experimental/valor esperado)	1-(ve-vex/ve)
1	3.00	30.00	0.1	0.9
1	8.00	34.00	0.23529412	0.76470588
1	4.00	29.00	0.13793103	0.86206897
2	-2.00	25.00	-0.08	0.92
2	2.00	27.00	0.07407407	0.92592593
2	0.00	25.00	0	1

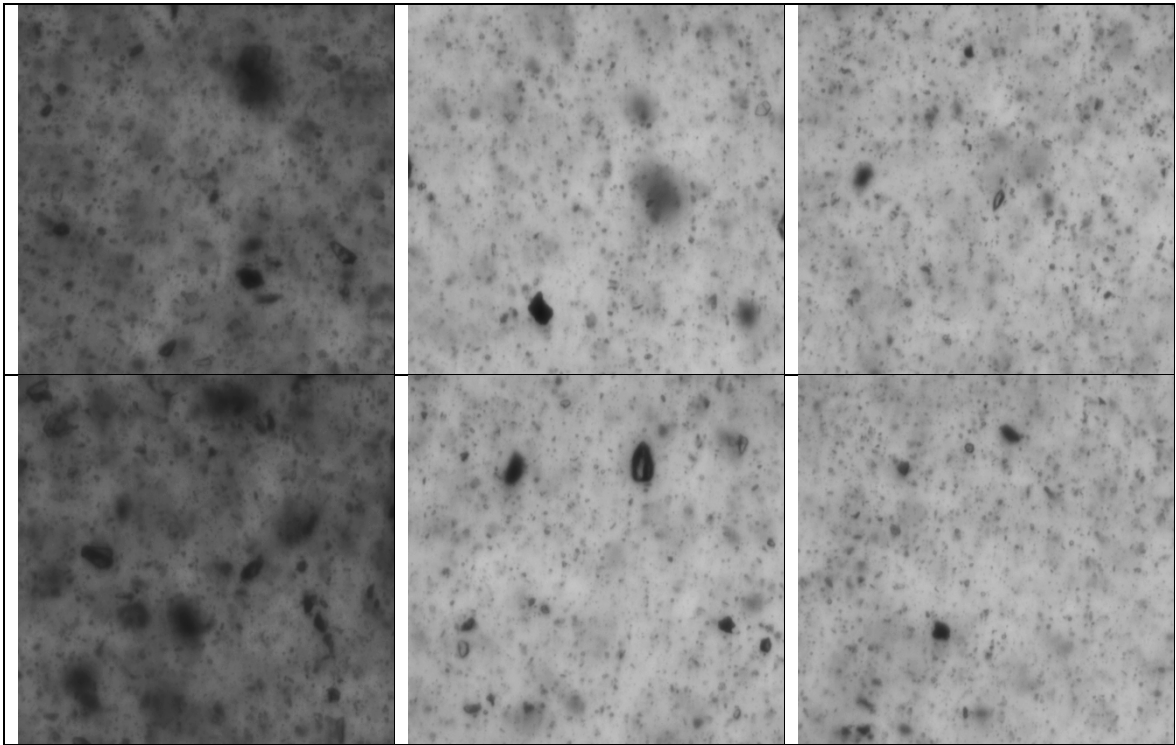
Tamaño de partícula (Análisis de imagen)	Valor esperado- Valor experimental	Valor esperado	(valor esperado-valor experimental/valor esperado)	1-(ve-vex/ve)
1	-4.42	70.15	-0.06300784	0.93699216
1	-0.61	77.95	-0.00782553	0.99217447
1	2.46	79.70	0.03086575	0.96913425
2	11.90	81.57	0.14588697	0.85411303
2	12.64	79.51	0.15897371	0.84102629
2	15.01	85.51	0.17553503	0.82446497

Viscosidad Plástica	%	Promedio	Esfuerzo mínimo de fluencia	%	Promedio
1	92.26%	94.13%	1	95.14%	89.89%
1	95.17%		1	94.61%	
1	93.09%		1	85.16%	
2	92.98%	94.91%	2	87.65%	91.68%
2	95.71%		2	88.13%	
2	94.12%		2	95.24%	
Tamaño de partícula (micras)	%	Promedio	Tamaño de partículas (análisis de img)	%	Promedio
1	90.00%	81.34%	1	93.70%	98.07%
1	76.47%		1	99.22%	
1	86.21%		1	96.91%	
2	92.00%	96.30%	2	85.41%	83.27%
2	92.59%		2	84.10%	
2	100.00%		2	82.45%	

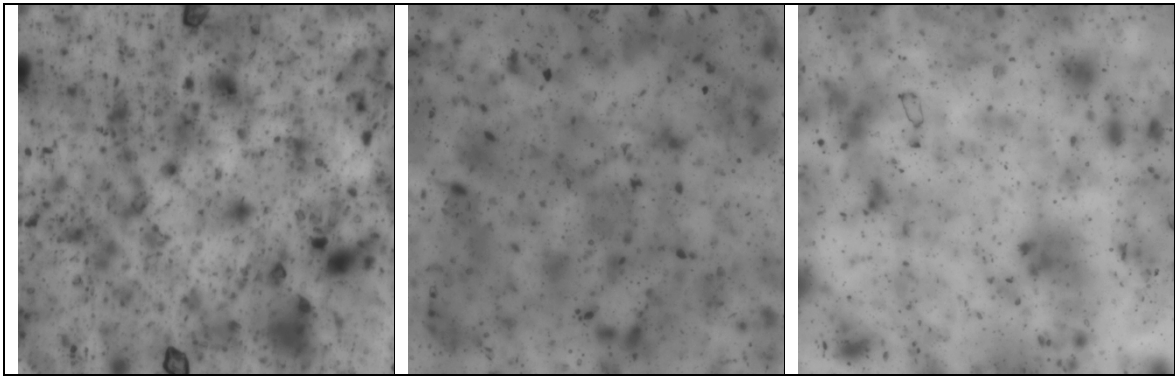
**ANEXO 44: Imágenes capturadas por el equipo de análisis dinámico de imagen
Particle Insight durante el proceso de refinado-conchado**

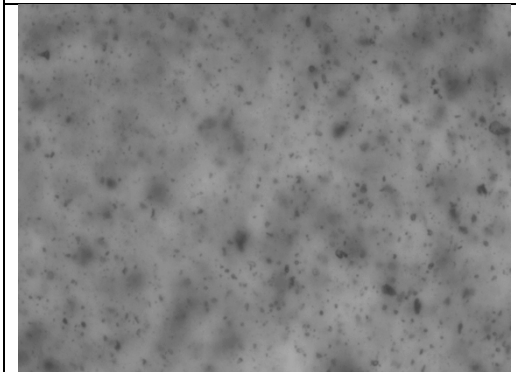
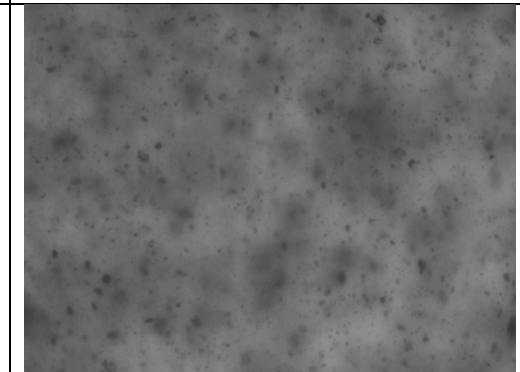
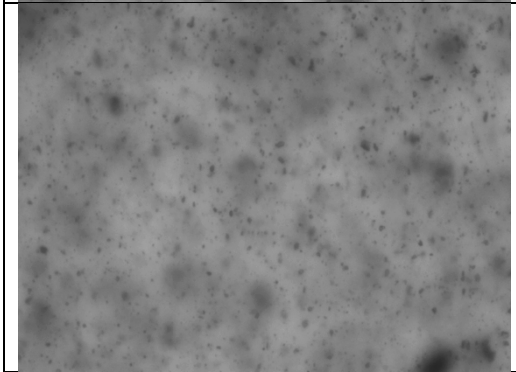
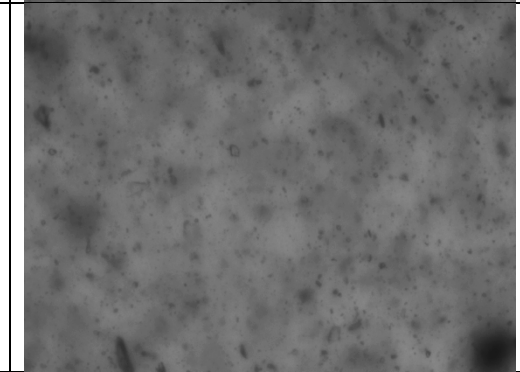
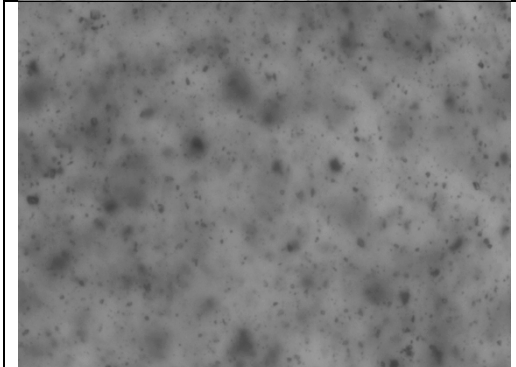
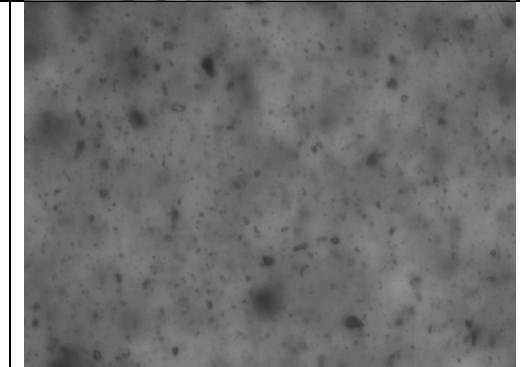
LOTE 1:



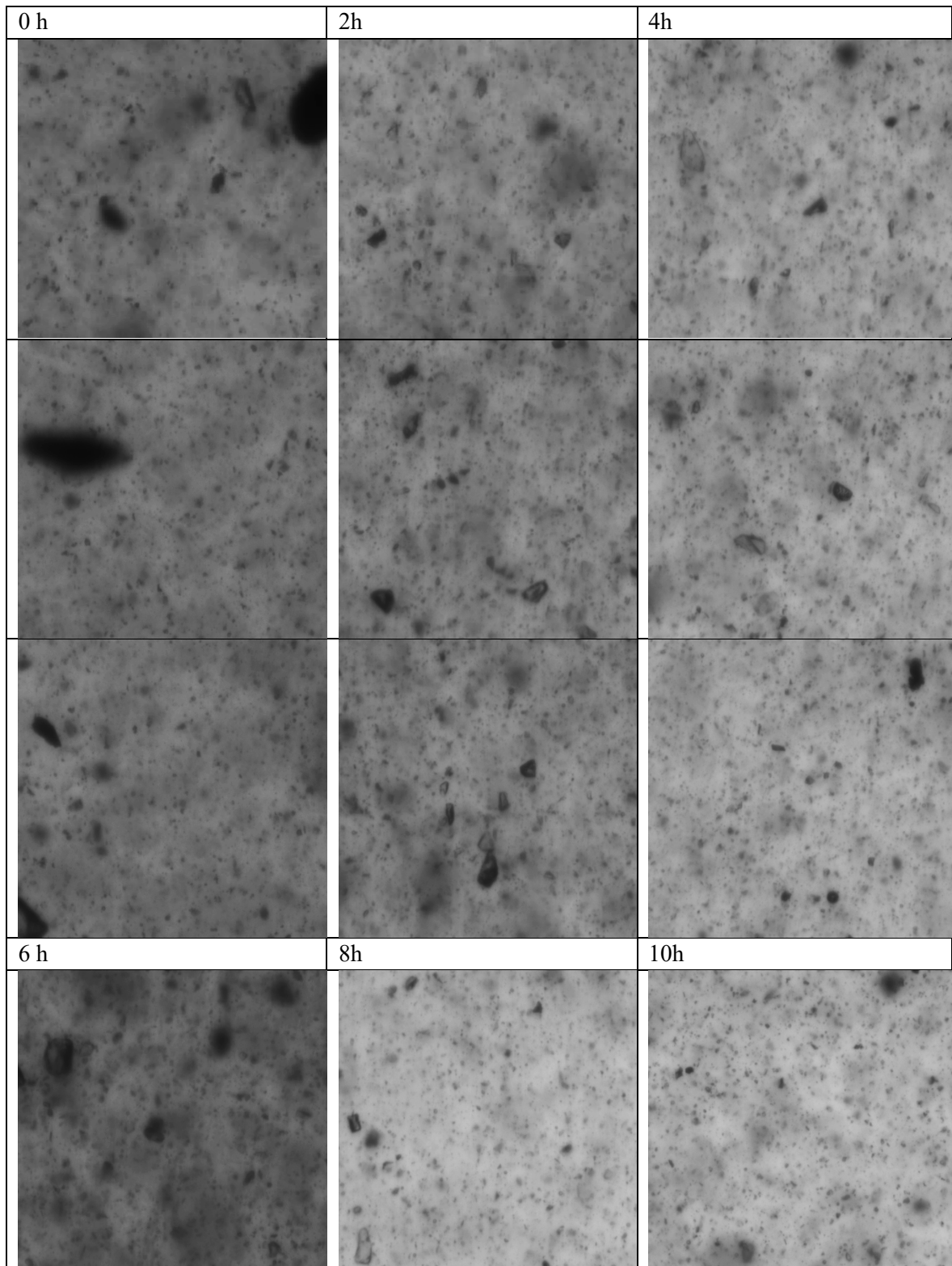


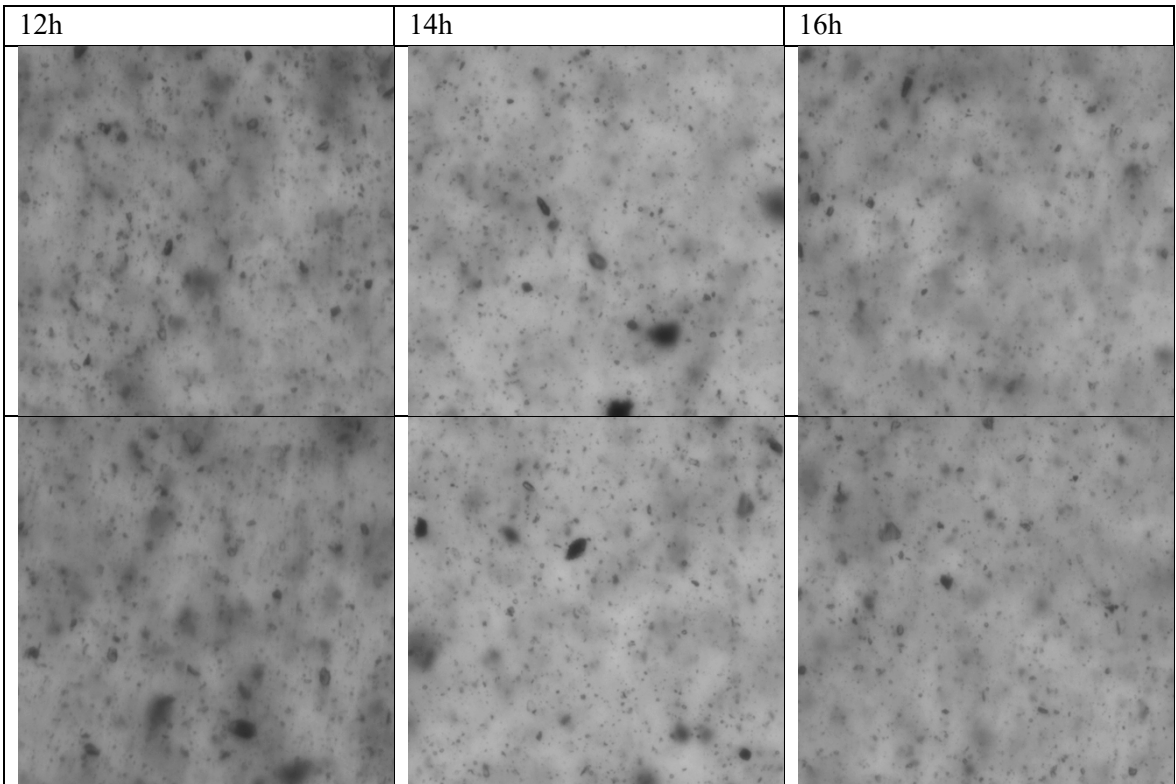
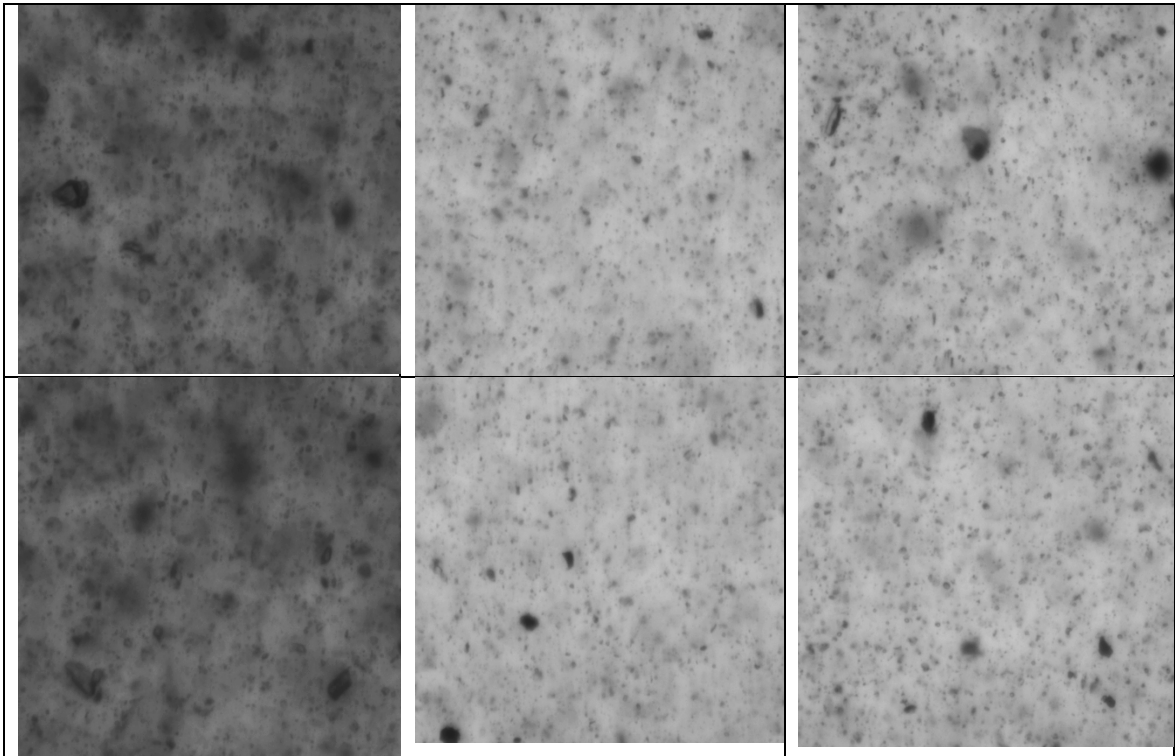
12h	14h	16h

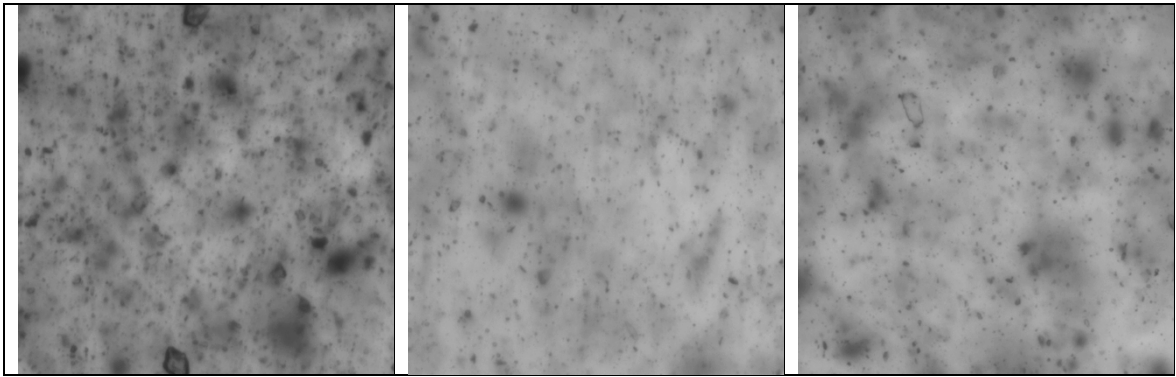


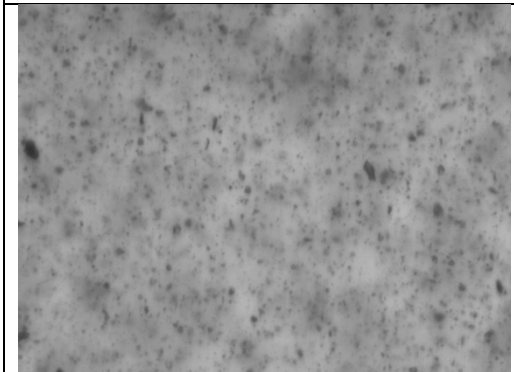
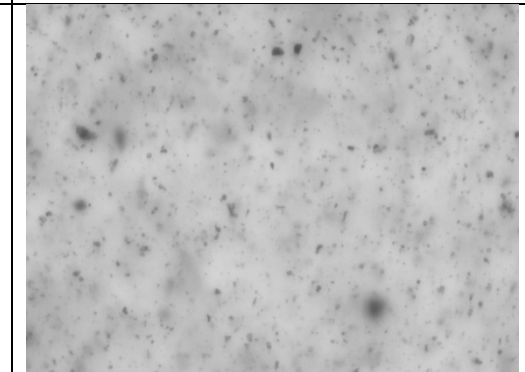
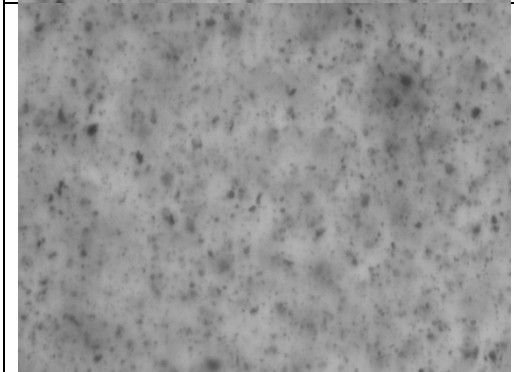
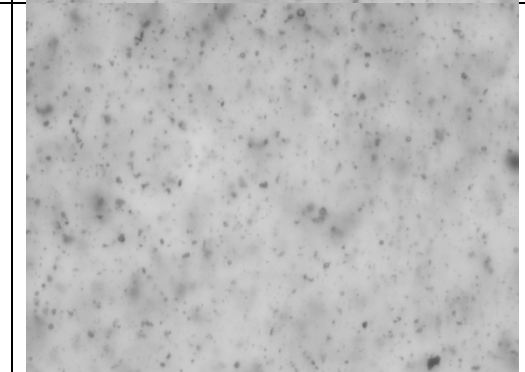
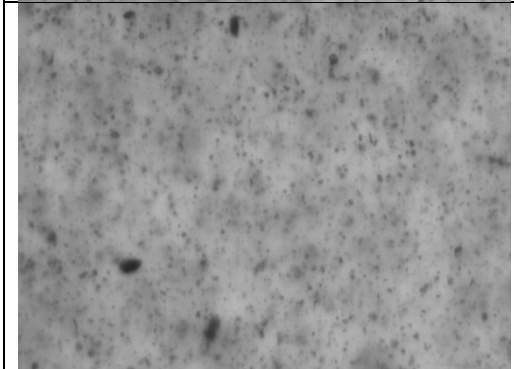
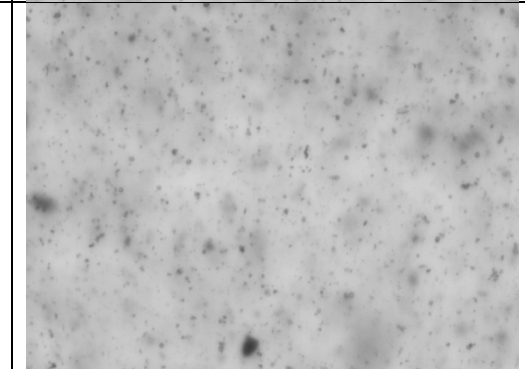
18h	20h
	
	
	

LOTE 2:

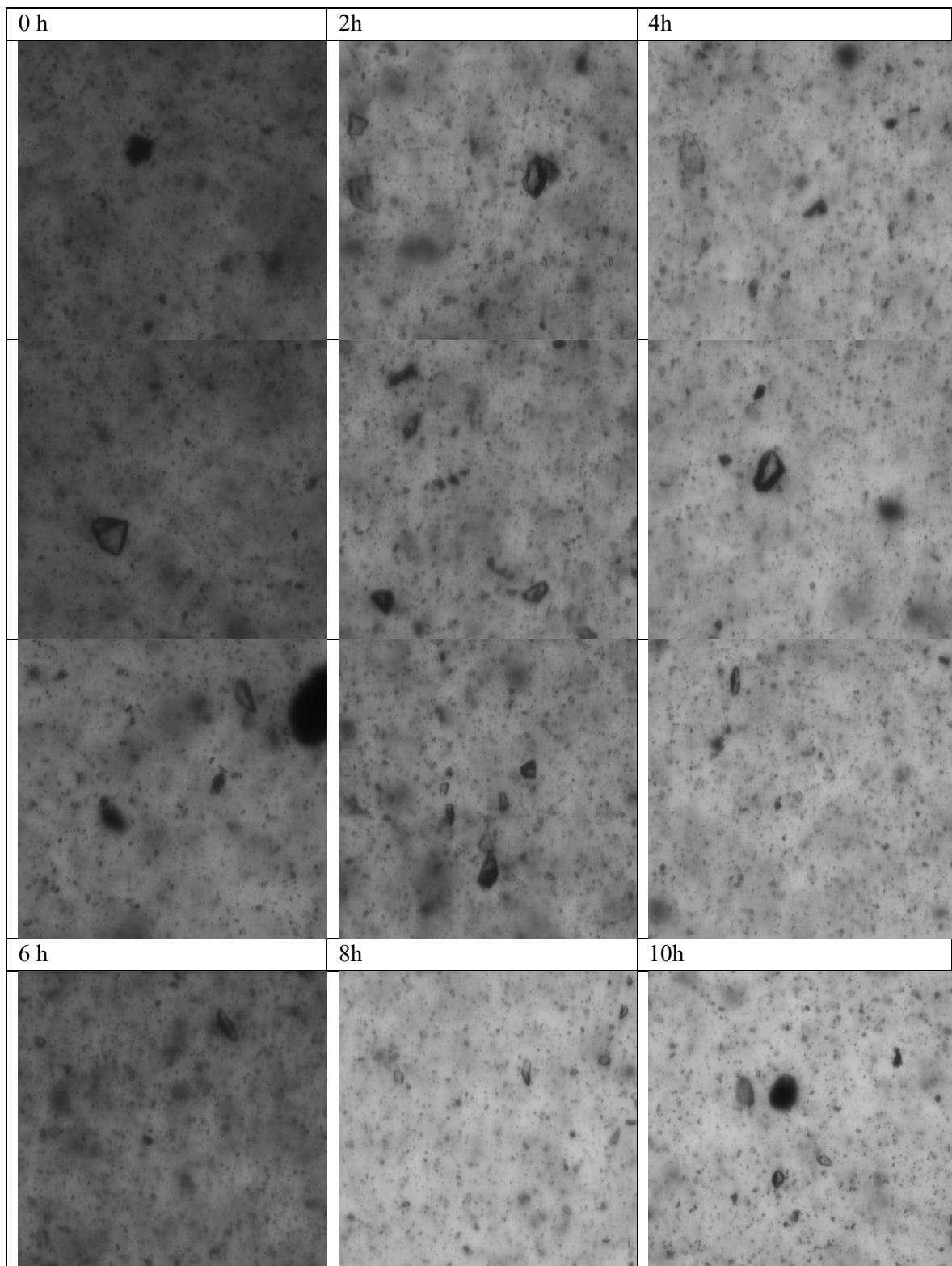


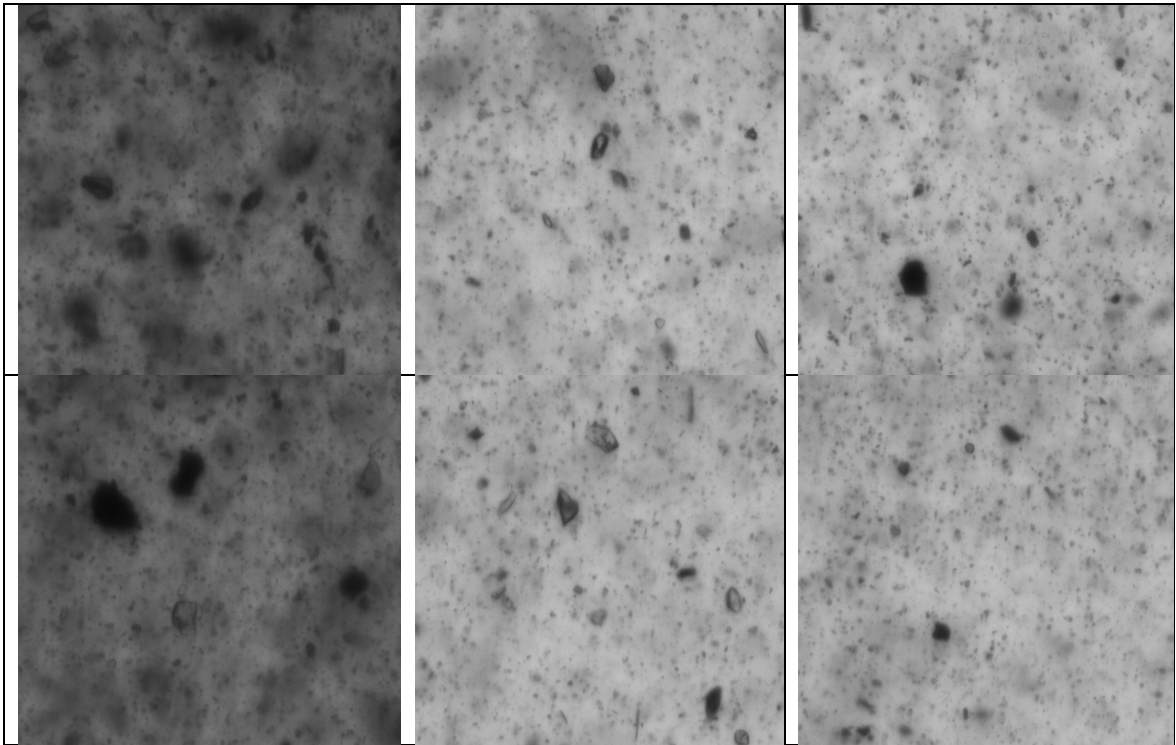




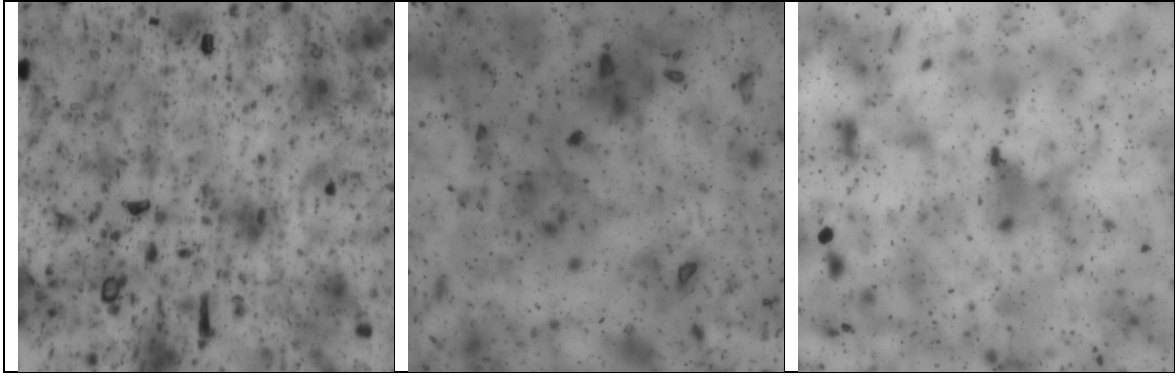
18h	20h
	
	
	

LOTE 3:





12h	14h	16h



18h	20h
