

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“DETERMINACIÓN DE NIVELES ÓPTIMOS EN LA  
REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE CACAO  
PIURANO EN LA FABRICACIÓN DE CHOCOLATE”**

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

**RENZO GABRIEL YACHACHIN TUNQUE**

**LIMA – PERÚ**

**2023**

## Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	Resultados y discusión-Renzo Yachachín-2022.docx (D140756219)
<b>Submitted</b>	2022-06-19 18:57:00
<b>Submitted by</b>	Milber Oswaldo Ureña Peralta
<b>Submitter email</b>	moup@lamolina.edu.pe
<b>Similarity</b>	0%
<b>Analysis address</b>	moup.unalm@analysis.orkund.com

**Dr. Milber Ureña Peralta**

## Sources included in the report

---

## Entire Document

---

I.  
RESULTADOS Y DISCUSIÓN  
ANÁLISIS PROXIMAL DEL GRANO DE CACAO TOSTADO  
En la tabla 6 se observan los resultados promedio del análisis proximal (sus datos en el Anexo 1) de la muestra de grano de Piura antes del tostado y descascarillado, expresado como peso en gramos por 100 g de muestra inicial, obtenidos del promedio de los resultados de cada ensayo por triplicado.  
Tabla 6: Análisis proximal del grano de cacao de Piura antes del tostado.  
Componente Valor base húmeda (%) Valor base seca (%) Humedad  $4,51 \pm 0,10$  -- Ceniza  $3,32 \pm 0,00$   $3,48 \pm 0,00$  Grasa cruda  $47,47 \pm 0,15$   $49,71 \pm 0,21$  Proteína cruda  $13,81 \pm 0,20$   $14,46 \pm 0,22$  Fibra cruda  $5,25 \pm 0,35$   $5,49 \pm 0,36$   
Carbohidratos totales  $30,89 \pm 0,40$   $32,35 \pm 0,39$   
La humedad del grano de cacao fue de  $4,51 \pm 0,10$  por ciento; según (Beckett, 2002) normalmente se sube la temperatura de tostado hasta el grado entre 110 y 140 °C cuando el contenido en humedad se ha reducido a un valor inferior al tres por ciento. Habitualmente el proceso global de tostado dura entre 45 minutos y una hora. La posible diferencia de los resultados a lo citado puede ser la temperatura y tiempo que se utilizó en el experimento que fue de 100 °C por 40 minutos.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“DETERMINACIÓN DE NIVELES ÓPTIMOS EN LA  
REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE CACAO  
PIURANO EN LA FABRICACIÓN DE CHOCOLATE”**

Presentado por:

RENZO GABRIEL YACHACHIN TUNQUE

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

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

---

PhD. Fanny Ludeña Urquiza

PRESIDENTE

---

Dra. Indira Betalleluz Pallardel

MIEMBRO

---

Dra. Rosana Chirinos Gallardo

MIEMBRO

---

Dr. Milber Ureña Peralta

ASESOR

---

PhD. Gabriela Chire Fajardo

CO - ASESORA

Lima – Perú

2023

## **DEDICATORIA**

Mi trabajo y esfuerzo lo dedico a mi hermano Cristhian quien me enseñó la fortaleza del ser humano; luchar y vencer las adversidades de la vida y siempre sonreír; a mi familia Padres, Hermanos y Sobrino que son lo más importante en mi vida, el motor que hace que me supere día a día; mi esposa Karla que está conmigo en las buenas y malas, dándome ánimos y apoyándome frente a cada adversidad formando parte esencial en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a toda mi familia que siempre me apoya en los buenos y malos momentos, a mis amigos que me brindan su apoyo y motivación para seguir adelante, a mi asesor Milber Oswaldo Ureña Peralta y Co-asesora Gabriela Cristina Chire Fajardo por guiarme y orientarme en el trayecto de la investigación, a la empresa T'inkiy por facilitarme las instalaciones para desarrollar la investigación.

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

## ABSTRACT

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1.	CACAO .....	3
2.1.1.	CACAO DE PIURA .....	3
2.2.	CHOCOLATE .....	3
2.3.	INGREDIENTES PARA ELABORACIÓN DE CHOCOLATE.....	4
2.3.1.	AZÚCAR BLANCA.....	4
2.3.2.	LECHE EN POLVO .....	4
2.3.3.	MANTECA DE CACAO. ....	4
2.4.	ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE.....	5
2.4.1.	TOSTADO.....	6
2.4.2.	DESCASCARILLADO Y AVENTADO.....	7
2.4.3.	MOLIENDA .....	7
2.4.4.	REFINADO .....	8
2.4.5.	CONCHADO .....	9
2.4.6.	TEMPERADO .....	9
2.4.7.	MOLDEADO Y ENFRIADO .....	10
2.5.	FORMULACIÓN DE CHOCOLATE.....	11
2.6.	OPERACIÓN UNITARIA DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA .. .....	11
2.7.	REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA .....	12
2.8.	PROPIEDADES FÍSICAS DEL CHOCOLATE INFLUENCIADAS POR LA REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	12
2.8.1.	VISCOSIDAD .....	12
2.8.2.	TAMAÑO DE PARTÍCULA .....	13
2.8.3.	INFLUENCIA DE LA GRASA LÁCTEA EN LA REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	15
2.9.	MOLINO – REFINADOR DE PIEDRAS (PREMIER).....	15
2.10.	METODOLOGÍA TAGUCHI.....	16

2.11.	MÉTODO SUPERFICIE RESPUESTA .....	16
<b>III.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>18</b>
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	18
3.2.	MATERIA PRIMA E INGREDIENTES .....	18
3.3.	MAQUINARIA, EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	19
3.3.1.	MÁQUINAS .....	19
3.3.2.	EQUIPOS.....	19
3.3.3.	MATERIALES .....	19
3.3.4.	REACTIVOS .....	20
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	20
3.4.1.	ANÁLISIS PROXIMAL .....	20
3.4.2.	CONTROLES DE PROCESOS .....	21
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	23
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	24
3.6.1.	MÉTODO TAGUCHI .....	25
3.6.2.	MÉTODO SUPERFICIE RESPUESTA .....	27
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	27
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
4.1.	ANÁLISIS PROXIMAL DEL GRANO DE CACAO TOSTADO .....	30
4.2.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE PROCESO QUE MINIMIZAN EL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA MOLIENDA .....	31
4.2.1	REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA MOLIENDA.....	31
4.2.2.	TAMAÑO DE PARTÍCULA EN MOLIENDA L <sub>12</sub> .....	31
4.2.3.	ANÁLISIS POR EL MÉTODO TAGUCHI PARA LA MOLIENDA .....	35
4.3.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE PROCESO QUE MINIMIZAN EL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL REFINADO .....	36
4.3.1.	REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN EL REFINADO.....	36
4.3.2.	TAMAÑO DE PARTÍCULA EN REFINADO L <sub>8</sub> .....	36
4.3.3.	ANÁLISIS POR EL MÉTODO TAGUCHI PARA EL REFINADO.....	38
4.4.	VALORES QUE OPTIMIZAN LA MOLIENDA Y EL REFINADO .....	40
4.5.	ANÁLISIS PROXIMAL DEL CHOCOLATE AL 50% DESPUÉS DE LA OPTIMIZACIÓN.....	40
4.6.	MEDICION DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA FINAL.....	41

4.7.	REDUCCIÓN DE COSTOS UTILIZANDO LOS VALORES QUE OPTIMIZAN LA MOLIENDA Y EL REFINADO.....	42
4.7.1.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	42
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	45
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	47
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	48
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	53



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Tipos de molino de acuerdo al tamaño del producto final.....	11
Tabla 2:	Fórmula de chocolate tinkiy al 50% .....	18
Tabla 3:	Metodología experimental para la medición del tamaño de partícula por proceso y sub proceso. ....	21
Tabla 4:	Tratamientos de la molienda sin randomizar para un arreglo $I_{12}$ .....	25
Tabla 5:	Tratamientos del refinado sin randomizar para un arreglo $I_8$ .....	26
Tabla 6:	Análisis proximal del grano de cacao tostado de piura.....	30
Tabla 7:	Tamaño de partícula inicial ( $\mu m_0$ ) y final ( $\mu m_f$ ) de cada experimento y la variación porcentual ( $\% \Delta$ ) para la molienda.....	32
Tabla 8:	Factores de los mayores porcentajes de reducción de partícula. ....	33
Tabla 9:	Análisis de varianza para tamaño de partícula (media) .....	35
Tabla 10:	Respuesta óptima del tamaño de partícula en la molienda .....	35
Tabla 11:	Tamaño de partícula inicial ( $\mu m_0$ ) y final ( $\mu m_f$ ) de cada experimento y la variación porcentual ( $\% \Delta$ ) para el refinado .....	36
Tabla 12:	Análisis de varianza para tamaño de partícula (media) .....	38
Tabla 13:	Respuesta óptima del tamaño de partícula en el refinado.....	39
Tabla 14:	Factores óptimos para la molienda y refinado .....	40
Tabla 15:	Análisis proximal del chocolate al 50% de cacao.....	41
Tabla 16:	Insumos usados para la elaboración del chocolate .....	42
Tabla 17:	Fórmula de chocolate (tinkiy formula) .....	43
Tabla 18:	Costo de producto por unidad .....	43
Tabla 19:	Costo energético y total por cada barra.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Pasos de procesamiento para la fabricación de chocolate .....	6
Figura 2:	Viscosidad de la pasta de cacao molida a diferentes finuras .....	8
Figura 3:	Rangos de temperaturas para la formación estable de las seis formas cristalinas de la manteca de cacao. ....	10
Figura 4:	Diagrama que muestra la cizalla .....	12
Figura 5:	Cambio de la viscosidad a lo largo del tiempo con diferentes efectos cizallantes.....	13
Figura 6:	La influencia de la fineza de las partículas en los parámetros de viscosidad de dos chocolates con leche .....	14
Figura 7:	Máquina de molienda y refinado de cacao – premier .....	15
Figura 8:	Superficie respuesta tridimensional .....	17
Figura 9:	Principio del micrómetro digital .....	22
Figura 10:	Flujo de operaciones para la elaboración de chocolate.....	23
Figura 11:	Análisis de superficie respuesta .....	28

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	FICHA TÉCNICA DEL MOLINO - REFINADOR DE CACAO Y CHOCOLATE .....	53
ANEXO 2:	FICHA TÉCNICA DE GRANO DE CACAO APROCAP.....	54
ANEXO 3:	FICHA TÉCNICA DEL AZÚCAR BLANCA (CARTAVIO) .....	55
ANEXO 4:	FICHA TÉCNICA DE LECHE EN POLVO (INCO – BELGO MILK MH) .....	56
ANEXO 5:	FICHA TÉCNICA DE LA MANTECA DE CACAO (MACHUPICCHU FOODS).....	59
ANEXO 6:	FICHA TÉCNICA DEL TOSTADOR DE CACAO.....	60
ANEXO 7:	FICHA TÉCNICA DEL DESCASCARILLADOR DE CACAO .....	61
ANEXO 8:	FICHA TÉCNICA DEL PRE MOLINO DE CACAO.....	62
ANEXO 9:	FICHA TÉCNICA DEL TERMÓMETRO LÁSER.....	63
ANEXO 10:	FICHA TÉCNICA DEL MICRÓMETRO DE CHOCOLATE.....	64
ANEXO 11:	MEDICIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	65
ANEXO 12:	MEZCLA DE INSUMOS EN EL REFINADO DE CHOCOLATE (PASTA DE CACAO, MANTECA DE CACAO, AZÚCAR Y LECHE EN POLVO) .....	65
ANEXO 13:	ARREGLO ORTOGONAL L12 RANDOMIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS DE MOLIENDA .....	66
ANEXO 14:	ARREGLO ORTOGONAL L8 RANDOMIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS DE REFINADO.....	67
ANEXO 15:	ARREGLO ORTOGONAL L12 SIN RANDOMIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS DE MOLIENDA .....	67
ANEXO 16:	ARREGLO ORTOGONAL L8 SIN RANDOMIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS DE REFINADO.....	68
ANEXO 17:	VALORES DEL ANÁLISIS PROXIMAL DEL CACAO PIURANO DESPUÉS DEL TOSTADO.....	69
ANEXO 18:	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MOLIENDA.....	70
ANEXO 19:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA TAMAÑO DE PARTÍCULA (MEDIA).....	71
ANEXO 20:	RESPUESTA ÓPTIMA.....	73

ANEXO 21: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL REFINADO.....	73
ANEXO 22: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PORCENTAJE DE REDUCCIÓN (MEDIA).....	75
ANEXO 23: RESPUESTA ÓPTIMA.....	76
ANEXO 24: ANÁLISIS PROXIMAL DEL CHOCOLATE AL 50% DE CACAO ....	77
ANEXO 25: TABLA DE ANÁLISIS PROXIMAL DE CHOCOLATE PIURA MILK .....	78

## RESUMEN

El chocolate del Perú está ganando más importancia a nivel mundial debido a la incomparable biodiversidad del cacao y la calidad del mismo. La presente investigación contribuye a la mejora de las operaciones de molienda y refinado en la elaboración de chocolate con leche. Para lo cual se aplicó el Método *Taguchi* para determinar los factores (temperatura, posición de raspado y tiempo de proceso) que significativamente tuvieron efecto sobre la reducción del tamaño de partícula, con los arreglos ortogonales  $L_{12}$  y  $L_8$  que demandaron 36 y 24 tratamientos para la molienda y el refinado, respectivamente. El análisis proximal del cacao blanco de Piura presentó 47.47% de grasa y 7% de humedad. Fue tostado a 100°C por 40 minutos y luego descascarillado, con un rendimiento de 70% de cacao partido sin cáscara. Los trozos de cacao fueron sometidos a molienda, para luego agregarle azúcar blanca, leche entera en polvo y manteca de cacao en el refinado. Se ensayó con temperaturas de molienda a tres niveles: 40-45°C, 37-42°C y 37-42°C y de refinado a dos niveles: 45-50°C y 43-48°C; con posiciones de raspado a tres niveles: 3.0-3.5, 4.0-4.5 y 4.5-5.0 en la molienda y a dos niveles: 4.5-5.0 y 4.0-4.5 en el refinado; y a tres niveles de tiempo: 10-20, 40-50 y 10-20 min para la molienda y dos niveles de tiempo: 4.0-5.0 y 6.0-7.0 horas para el refinado; estos valores se asignaron por la experiencia en proceso de la empresa Tinkiy. Según el análisis de variancia, los niveles de los factores ensayados no tuvieron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) en la reducción del tamaño de partícula, que alcanzó el valor promedio de 26.4 y 24.0  $\mu\text{m}$  en la molienda y refinado, respectivamente; por lo que no se ejecutó la posterior etapa de optimización aplicando el método de superficie de respuesta.

**Palabras clave:** Cacao blanco, trozos de cacao, pasta de cacao, licor de cacao, micrómetro

## ABSTRACT

Chocolate from Peru is gaining more importance worldwide due to the incomparable biodiversity of cocoa and its quality. This research contributes to the improvement of grinding and refining operations in the production of milk chocolate. For which the *Taguchi* Method was applied to determine the factors (temperature, scraping position and process time) that had a significant effect on the reduction of particle size, with the orthogonal arrangements  $L_{12}$  and  $L_8$  that required 36 and 24 treatments for the grinding and refining respectively. The proximal analysis of white cocoa from Piura showed 47.47 percent fat and seven percent moisture. It was roasted at 100°C for 40 minutes and then shelled, with a yield of 70 percent shelled cracked cocoa. The pieces of cocoa were subjected to grinding, to later add white sugar, whole milk powder and cocoa butter in the refinement. It was tested with grinding temperatures at three levels: 40-45°C, 37-42°C and 37-42°C and refining at two levels: 45-50°C and 43-48°C; with scraping positions at three levels: 3.0-3.5; 4.0-4.5 and 4.5-5.0 in grinding and at two levels: 4.5-5.0 and 4.0-4.5 in refining; and at three-time levels: 10-20, 40-50 and 10-20 min for grinding and two-time levels: 4.0-5.0 and 6.0-7.0 hours for refining; these values were assigned by the process experience of the Tinkiy company. According to the analysis of variance, the levels of the tested factors had no significant effects ( $p < 0.05$ ) on the reduction of particle size, which reached the average value of 26.4 and 24.0  $\mu\text{m}$  in grinding and refining, respectively; so, the subsequent optimization stage applying the response surface method was not executed.

**Keywords:** White cacao, cacao nibs, cacao mass, cacao liquor, micrometer

## I. INTRODUCCIÓN

La cadena productiva del chocolate en el Perú se ha incrementado en la actualidad y cada vez es más reconocido a nivel mundial el cual ya reconoce su gran potencial de variedad genética; 5 por ciento de la producción mundial es cacao fino y de aroma y el Perú tiene el 65 por ciento de esa variedad genética que es una ventaja comparativa, la cual todavía no ha sido explotada en su totalidad.

Contando con la materia prima que es el cacao, lo siguiente es mejorar las técnicas de elaboración de chocolate, mediante diferentes procesos industriales razón por el cual se debe investigar y estudiar los diferentes procesos que conlleva la elaboración del chocolate y sus derivados. El éxito de obtener un chocolate de calidad mundial que depende principalmente del tipo de grano y de los distintos procesos de fabricación; estos últimos no son estándares en el país por lo cual existe una debilidad en la fabricación de chocolate.

El proceso de elaboración del chocolate tiene diferentes etapas, donde las principales operaciones son la molienda y el refinado, estas contribuyen a destacar distintas cualidades sensoriales y físicas para obtener el chocolate; razón por la cual, se debe estudiar minuciosamente cada etapa para lograr así mejoras significativas, como por ejemplo el tamaño de las partículas, que influye mucho en la apreciación del sabor y textura del chocolate, la cual debe ser untuosa y para lograr eso debe llegar a un rango de 18 - 20  $\mu\text{m}$  de tamaño de partícula ideal.

El objetivo de esta investigación fue obtener el menor tamaño de partícula del cacao piurano al optimizar los parámetros de molienda en la fabricación de chocolate con leche al 50 por ciento de cacao.

Los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar fisicoquímicamente el grano de cacao piurano sin cáscara con el análisis proximal, después del tostado como insumo principal para la elaboración del chocolate con leche al 50 por ciento de cacao.
- Determinar los parámetros de temperatura de calentamiento, posición de raspado y tiempo que minimicen el tamaño de partícula en la molienda, aplicando los métodos Taguchi y Superficie de Respuesta. Para lograr llegar a un tamaño de partícula ideal en un rango de 18 - 20  $\mu\text{m}$ .
- Caracterizar fisicoquímicamente el chocolate con leche al 50 por ciento de cacao después de la optimización de la molienda con el análisis proximal y la medición del tamaño de partícula.



## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. CACAO**

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es una especie nativa de los bosques tropicales húmedos de América del sur, sus poblaciones ostentan una amplia diversidad genética (entre y dentro de ellas), tanto al estado silvestre como cultivado (García, 2014).

De las 22 especies del género *Theobroma*, sólo la especie *Theobroma cacao* representa una actividad comercial importante. Su centro de origen y diversidad se encuentra en la región Amazónica en lo que hoy es Brasil, Perú, Ecuador y Colombia (Dostert *et al.*, 2012).

#### **2.1.1. CACAO DE PIURA**

Según recientes investigaciones, “el Cacao - Piura es nativo de Piura” (Weston, 2016). Asimismo, Weston (2016) recalca que el cacao de Piura no es un cacao Nacional (ecuatoriano), tampoco es el cacao blanco o cacao porcelana de Chuao (Venezuela); por ello, se le ha dado actualmente la nominación de “nativo” por parte de algunas cooperativas del norte (Cooperativa Norandino).

### **2.2. CHOCOLATE**

El chocolate (en algunas regiones también descrito como chocolate amargo, chocolate semidulce, chocolate oscuro o “*chocolat fondant*”) 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 (INDECOPI, 2014).

El chocolate es prácticamente un alimento único ya que se encuentra en estado sólido a temperatura ambiente, pero funde rápidamente dentro de la boca. Esto se debe a que la grasa que contiene, la manteca de cacao se encuentra en su mayor parte sólida a temperaturas inferiores a 25°C lo que mantiene unidas al azúcar y a las partículas de cacao, ambos en estado sólido. Sin embargo, la grasa se encuentra casi al completo en estado líquido a la temperatura del cuerpo humano lo que permite que las partículas fluyan de modo que el chocolate pasa a ser un líquido suave cuando este se calienta en la boca (Beckett, 2002).

Según Afoakwa (2010), los chocolates son suspensiones semisólidas de partículas sólidas finas de azúcar y cacao (y leche, dependiendo del tipo), haciendo aproximadamente el setenta por ciento en total, en una fase grasa continua.

### **2.3. INGREDIENTES PARA ELABORACIÓN DE CHOCOLATE**

#### **2.3.1. AZÚCAR BLANCA**

Según López & Zamora (2017), el azúcar de mesa se extrae de la caña de azúcar, se exprime y se le saca el jugo y así se extrae un jugo que después se clarifica, se concentra y ahí se produce el azúcar, la fibra que queda aplastada se usa para otros productos industriales, eso recibe el nombre de bagazo que luego se usa en la industria del papel. Se evapora el jugo que sale de esa caña y se lleva a temperatura, se evapora el líquido y se lo lleva a cristalización, primero va a ser negra y luego se refina hasta llegar a ser blanca.

#### **2.3.2. LECHE EN POLVO**

Se entiende por leche en polvo al producto que se obtiene por deshidratación de la leche, entera, descremada o parcialmente descremada y apta para la alimentación humana, mediante procesos tecnológicamente adecuados (Bocci & Casas, 2013).

#### **2.3.3. MANTECA DE CACAO**

La manteca de cacao es el ingrediente de mayor influencia en el precio del chocolate. Constituye aproximadamente una tercera parte en el contenido del producto terminado y es

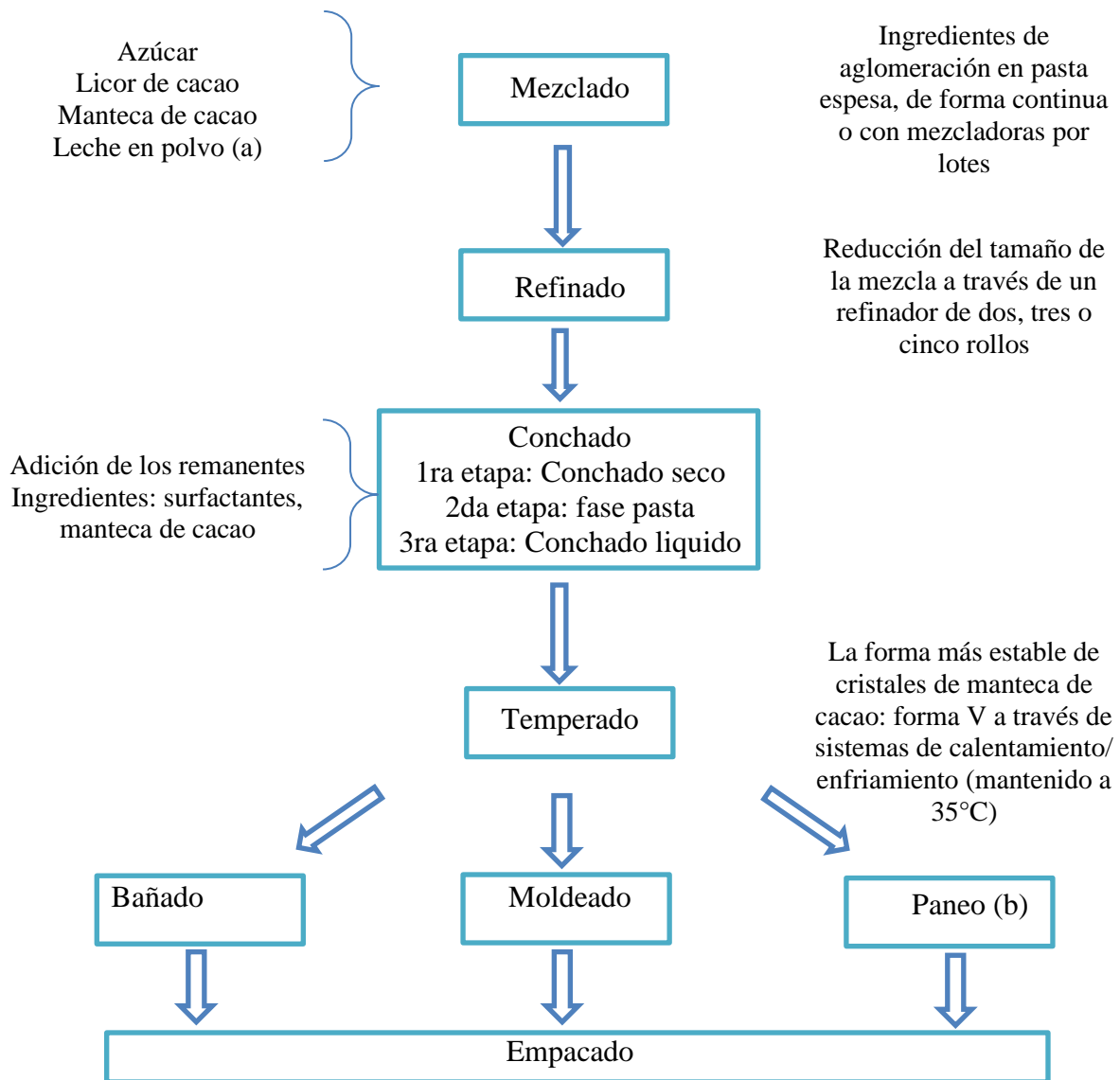
la responsable de sus características tan apreciadas, como lo dureza, la rápida y completa fusión en la boca, el brillo y la vida útil (Codini *et al.*, 2004).

Beckett (2002) menciona que la composición de la manteca es 98% de triglicéridos, 1% de ácidos grasos libres, 0.3 - 0.5% de diglicéridos y 0.1% de monoglicéridos. También contiene alrededor de 0.2% de esteroides y 150 a 350 ppm de tocoferoles (principalmente *c*-tocoferol). El contenido de fosfolípidos varía de 0.05 a 0.13%. Una amplia gama de compuestos volátiles tales como piracinas, tiazoles, piridinas y ácidos grasos de cadena corta, son los responsables de su aroma. Los ácidos grasos dominantes en la composición de la manteca de cacao son el palmítico (C16, P) 24.4 - 26.7%; el esteárico (C18, St) 34.4 - 35.4%, el oleico (18:1, O) 37.7 - 38.1% y el linoléico (C18:2, L) en baja proporción 2.1%. La mayor parte de los triglicéridos (77%) están compuestos por ácido oleico (*cis*) en la posición media del glicerol, con los dos ácidos saturados en las dos posiciones restantes formando alternativamente tres triglicéridos simétricos POP, POST, StOSt. Sólo el 2% de los triglicéridos están completamente saturados. No hay triglicéridos completamente insaturados. El ácido oleico forma un ángulo en el doble enlace, mientras que el palmítico y el esteárico se mantienen rectos, difiriendo en la longitud de la cadena de átomos de carbono. Estos factores geométricos hacen que los triglicéridos cristalicen en una cadena de cadena triple.

Según Afoakwa (2010), la manteca de cacao es el componente crítico de la elaboración del chocolate. Su origen y posterior procesado determinan las características físicas y de comportamiento del chocolate. Su dureza, gusto, sensación en la boca, color e incluso olor dependen de la calidad y tipo de manteca. Es esencial una cuidadosa selección de la manteca apropiada para cada producto determinado, pero hay además otros factores a tener en cuenta. Los procesos de refinado y atemperado a los que se somete afectarán de manera inevitable su calidad.

## **2.4. ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE**

La Figura 1 muestra el proceso industrial de fabricación de chocolate desde la mezcla de pasta de cacao (licor de cacao), manteca de cacao, azúcar, leche en polvo para la fabricación de chocolate (Afoakwa 2010).



**Figura 1: Pasos de procesamiento para la fabricación de chocolate**

(a): La leche desnatada en polvo solo se usa en la fabricación de chocolate con leche; (b): Paneo significa que el chocolate se usa como recubrimiento para centros de duros como las nueces.

FUENTE: Afoakwa (2010)

### 2.4.1. TOSTADO

La finalidad de este paso es la de modificar los precursores del sabor para dar los productos químicos que realmente le dan el sabor al chocolate (Beckett 2002).

El sabor del chocolate producido es el resultado de combinaciones de 400 - 500 compuestos, incluyendo pirazinas, aldehídos, ésteres, tiazoles, fenoles, cetonas, alcoholes, furanos y ésteres; entre estos los compuestos mayormente formados durante el tostado son las pirazinas, a través de la reacción de Maillard y la degradación de aminoácidos (Ramli *et al.*, 2006).

#### **2.4.2. DESCASCARILLADO Y AVENTADO**

Es un proceso combinado en el que se separa la cascarilla de los cotiledones, estrujando las semillas para que estas se liberen. El aventado aprovecha la diferencia de densidad entre el cotiledón y la cubierta, para realizar la separación (Chica & Osorio, 2003).

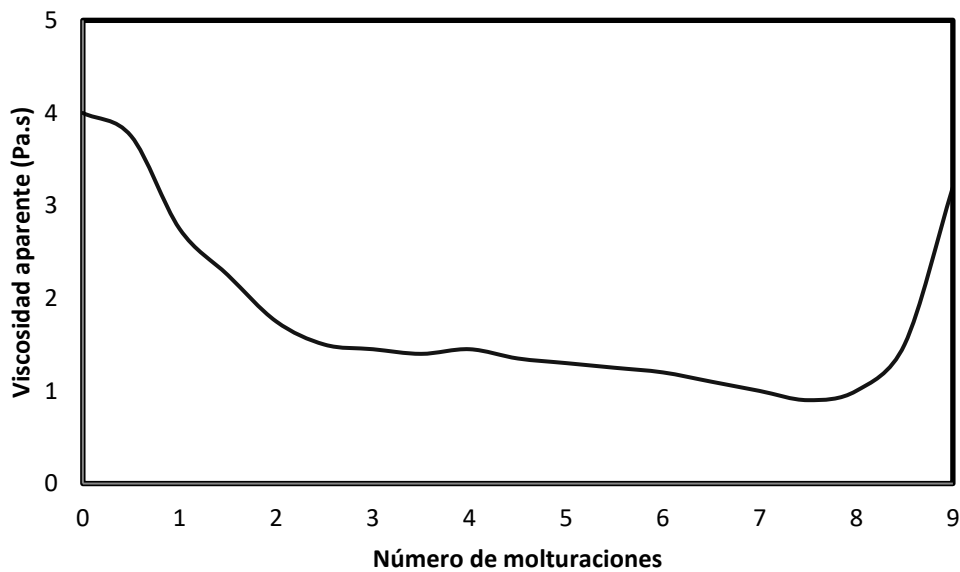
#### **2.4.3. MOLIENDA**

En esta etapa el cacao se presenta en partículas de varios milímetros de diámetro; se debe lograr un tamaño que depende del tipo de chocolate y del mercado consumidor, pero en general la mayoría de las partículas deben ser inferiores a 40 micras, este proceso libera la grasa y se funde por elevación de la temperatura a más de 34°C (punto de fusión de la manteca de cacao) por las fuerzas de fricción; la parte no grasa se reduce hasta obtener la pasta de cacao (Chica & Osorio, 2003).

En la molienda del grano de cacao hay dos objetivos a cumplir. El primero es hacer que las partículas de cacao sean lo suficientemente pequeñas como para fabricar chocolates; la segunda razón, de mayor importancia es la de extraer la mayor cantidad posible de grasa del interior de las células del cotiledón (Beckett, 2002). La grasa es necesaria para facilitar el flujo del chocolate, tanto en la fabricación de dulces como cuando funde en la boca.

Según Beckett (2002), la finalidad de la molienda es la de obtener la grasa del interior de las células, de manera que pueda recubrir las partículas sólidas de naturaleza no grasa en el chocolate. En el interior de las células hay más grasa de la necesaria para recubrir cualquiera de las superficies nuevas que se crean al romper las células. Esto significa que como la molienda reduce el tamaño de las células la pasta de cacao producido se vuelve más fluida, hay más grasa alrededor. Llega un momento en el que ya no se puede liberar más grasa, por lo que una molienda posterior solo genera superficies provenientes de las células que deben

ser recubiertas con grasa. Esto hace que la pasta de cacao se vuelva de nuevo más espesa, tal como se observa en la Figura 2.



**Figura 2: Viscosidad de la pasta de cacao molida a diferentes finuras**

FUENTE: Beckett (2002)

Según Quinga (2014), el grano de cacao tostado es transformado en licor de cacao. Esto se realiza a través de un molino que permite que los granos cambien de estado semisólido a un estado semilíquido. Los productos terminados de mayor calidad dependen de la finura de la pasta de cacao, que es realizada en molinos de piedra en este tipo de molienda se obtiene una pasta de calidad, por sus características granulométricas y son empleados en productos elites. Esta pasta es almacenada en taques a una temperatura de 35°C para evitar su solidificación.

#### **2.4.4. REFINADO**

Para Afoakwa (2010) el refinado del chocolate es importante para obtener una textura suave que es deseable en las fábricas de chocolates actualmente. Mezclas de azúcar, licor de cacao y leche (dependiendo del tipo de chocolate) y un contenido total de grasa de 8 - 24 por ciento son refinadas a un tamaño de partículas inferior a 30  $\mu\text{m}$ . El tamaño de las partículas al final influye en las propiedades reológicas y sensoriales.

La cizalla está relacionada con la diferencia de velocidad entre dos superficies en movimiento dividida por la distancia entre ellas. Esto significa que, si dos superficies se desplazan a velocidades muy diferentes y se encuentran muy juntas, tiene lugar una acción cizallante muy intensa, que rompe las partículas, de hecho, esto es lo que sucede en una refinadora de cinco rodillos (Beckett, 2002).

#### **2.4.5. CONCHADO**

De acuerdo a Beckett (2000), el conchado se considera el punto o la operación final en la fabricación de chocolate a granel, ya sea leche u oscuro. Es un proceso esencial que contribuye al desarrollo de la viscosidad, textura final y sabor. El conchado se realiza normalmente agitando el chocolate a más de 50°C por pocas horas.

El tiempo de conchado varía de acuerdo con el tipo de chocolate que se desee elaborar: para chocolates con leche en polvo se realiza de 10 - 16 horas con 49 - 52°C, y para chocolates oscuro a temperaturas entre 70 - 82°C (Afoakwa, 2010).

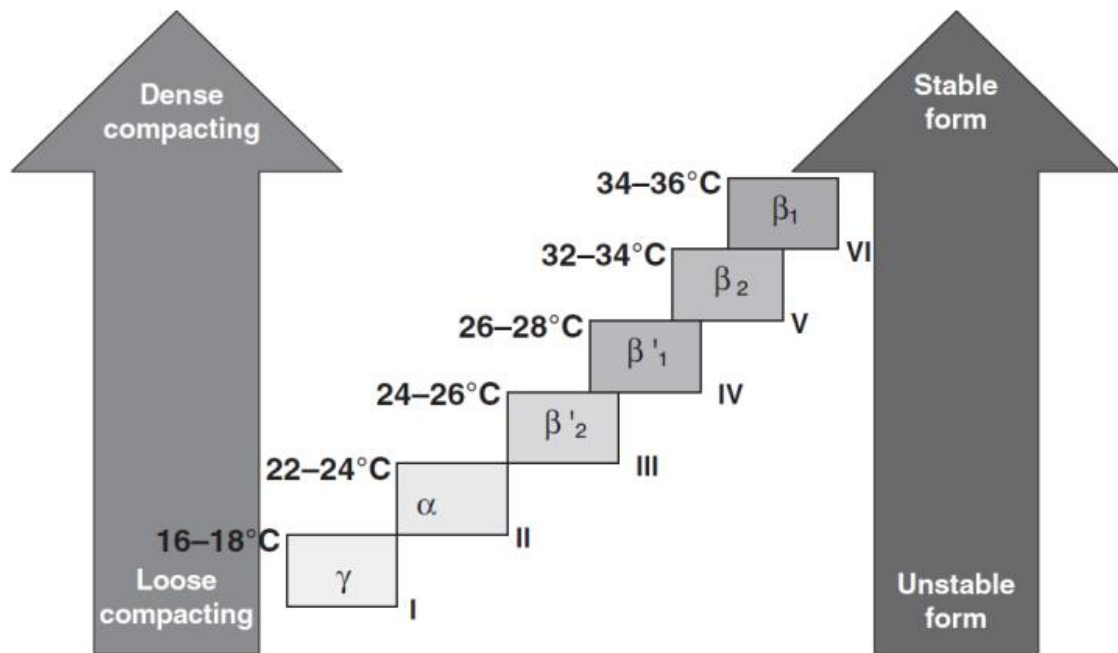
La concha continúa cambiando el *flavor* del chocolate y también el modo en el que funde en la boca. De gran importancia para el fabricante de chocolate, es la viscosidad final del chocolate fluido antes de que se utilice para fabricar el producto final. Otros autores han señalado una gran reducción de la cantidad de fenoles durante las primeras horas del conchado. Sin embargo, no se sabe que efecto presentan estos compuestos en el *flavor* del chocolate (Beckett, 2002).

#### **2.4.6. TEMPERADO**

El temperado es una técnica de pre-cristalización controlada que se utiliza para inducir la formación de una forma más termodinámicamente estable de la manteca de cacao con el fin de brindar buenas características de rompimiento, contracción, brillo y vida útil del producto (Afoakwa *et al.*, 2008).

La manteca de cacao está compuesta de varios triglicéridos cada uno de los cuales solidifica a diferente temperatura y a distinta velocidad, para hacerlo aún más complicado hay seis modos diferentes en los que los cristales individuales se pueden empaquetar. Lo que lo hace

difícil para el fabricante de chocolate es que solo una de esas seis formas conferirá al producto un buen brillo y el chasquido en la ruptura que lo hace tan atractivo para el consumidor (Beckett, 2002). En la Figura 3 se muestran los cristales de grasa y sus rangos de temperatura.



**Figura 3: Rangos de temperaturas para la formación estable de las seis formas cristalinas de la manteca de cacao**

FUENTE: Beckett (2002)

#### 2.4.7. MOLDEADO Y ENFRIADO

El chocolate se moldea en tabletas, se puede hacer de forma manual o mecánica pasándolo por un cabezal dosificador que llena por igual los moldes. Generalmente los moldes se encuentran a la misma temperatura que la masa para evitar contraste de temperaturas. Los moldes se someten a una serie de vibraciones para eliminar las burbujas de aire que pudieran haberse formado al caer la masa del molde. Luego entran a un túnel, a baja temperatura, que enfriara 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 (Díaz & Pinoargote, 2012).



## 2.5. FORMULACIÓN DE CHOCOLATE

El chocolate es un producto que normalmente tiene grasa. Según Yates (2009), el diseño de una formulación tiene factores que deben ser considerados, estos son: (1) ¿Cuál es tipo de cobertura?: oscura, con leche, blanca; (2) ¿Qué tipo de producto se va a aplicar?: confitería, panadería, helado; (3) ¿Cómo se usará el chocolate?: moldeado, sumergido, envuelto; (4) ¿Qué características de flujo son necesarias para la aplicación?; (5) ¿Qué tamaño de partícula se requiere?; (6) ¿Cuál es el sabor y el mercado objetivo?; (7) ¿Es un producto premium, indulgente?; (8) ¿Qué ingredientes se deben usar?; (9) ¿Cuál es el precio objetivo?. Cada uno de estos puntos necesita ser contestado si se quiere hacer un producto rentable con éxito, y después de idear la formulación, una revisión debe ser hecha para garantizar que se cumpla la legislación pertinente.

## 2.6. OPERACIÓN UNITARIA DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

Las operaciones unitarias que reducen el tamaño de partículas son procesos industriales muy importantes, en efecto se aplican para: rocas, carbón, cemento, plásticos, granos, etc. Los equipos que se usan para disminuir el tamaño de partículas se denominan en general molinos (Tabla 1). Se puede procesar desde pocos kilogramos por hora (operaciones de baja escala) hasta cientos de toneladas por hora. En muchas ocasiones el material debe molerse desde aglomerados de gran tamaño hasta polvo muy fino. Probablemente un solo molino no sea capaz de lograr la reducción deseada, entonces será necesaria una secuencia de equipos para lograr el objetivo (Ortegas-Rivas, 2005).

**Tabla 1: Tipos de molino de acuerdo con el tamaño del producto final**

Rango de reducción de tamaño	Nombre genérico del equipo	Tipo de equipo
Grueso e intermedio	Molinos de gruesos: Crushers	De rodillos
Intermedio y fino	Molino de finos: Mill o Grinders	De martillo, De discos
Fino y ultrafino	Molino de ultrafinos: Ultrafine grinders	De bolas, De martillo

FUENTE: Ortegas-Rivas (2005)

## 2.7. REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

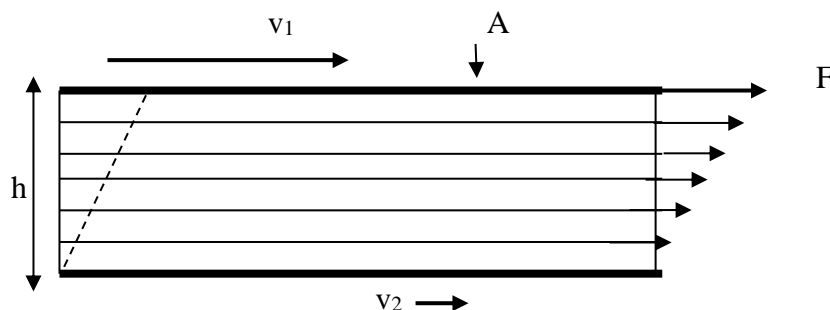
Para Balcazar & Guamba (2009), en muchas de operaciones de la manufactura de los alimentos suele ser una necesidad frecuente, desmenuzar los sólidos mediante la aplicación de fuerzas mecánicas las razones para esta reducción de tamaño son diferentes:

- La reducción del tamaño puede facilitar la extracción de un sustituyente deseado, contenido en una estructura compuesta.
- Una disminución del tamaño de la partícula de una masa dada del producto sólido conduce a un aumento en la superficie del sólido, que sirve de ayuda en muchos procesos de velocidad.

## 2.8. PROPIEDADES FÍSICAS DEL CHOCOLATE INFLUENCIADAS POR LA REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

### 2.8.1. VISCOSIDAD

Según Beckett (2000), se puede considerar la viscosidad o la consistencia como una fricción interna al movimiento, cuando el movimiento es sencillo (es decir, materiales completamente fluidos) hay muy poca fricción, pero para los materiales espesos la fricción es alta. Para ellos es útil reconsiderar la idea de cizalla como se observa en la Figura 4. Si consideramos que el líquido tiene dos superficies planas cada una de un área  $A$  y separadas una distancia  $h$  moviéndose a velocidades  $v_1$  y  $v_2$ , entonces de la definición previa de gradiente de deformación tangencial ( $D$ ) de  $(v_1+v_2)/h$ .

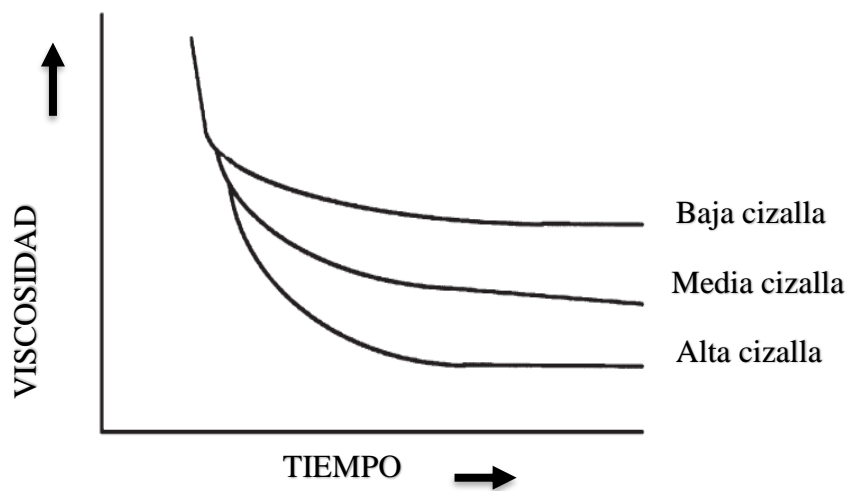


**Figura 4: Diagrama que muestra la cizalla**

$v_1$ =velocidad (cm/s);  $v_2$ =velocidad del plano inferior;  $A$ = área de la superficie del plano ( $\text{cm}^2$ );  $F$ =fuerza;  $h$ =distancia entre los planos (cm).

FUENTE: Beckett (2000)

De acuerdo a Beckett (2002), la fuerza necesaria para mover el plano superior en relación con el inferior se la denomina esfuerzo de cizalla o *Shear stress* ( $\tau$ ). Si representamos el gradiente de deformación tangencial frente al esfuerzo de cizalla, en otras palabras, la velocidad del movimiento del líquido según es sometido a diferentes fuerzas, se obtiene diferentes curvas, dependiendo del tipo de material que se está midiendo como se observa en la Figura 5. La viscosidad ( $\eta$ ) se define como la relación entre el esfuerzo de cizalla (*shear stress*) y el gradiente de deformación (*shear rate*), es decir:  $\eta = \tau/D$ ; las unidades en las que se expresa la viscosidad son los pascles por segundo (Pa.s), aunque todavía se utilizan las unidades antiguas de los Poises (0.1 Pa.s).



**Figura 5: Cambio de la viscosidad a lo largo del tiempo con diferentes efectos cizallantes**

FUENTE: Beckett (2002)

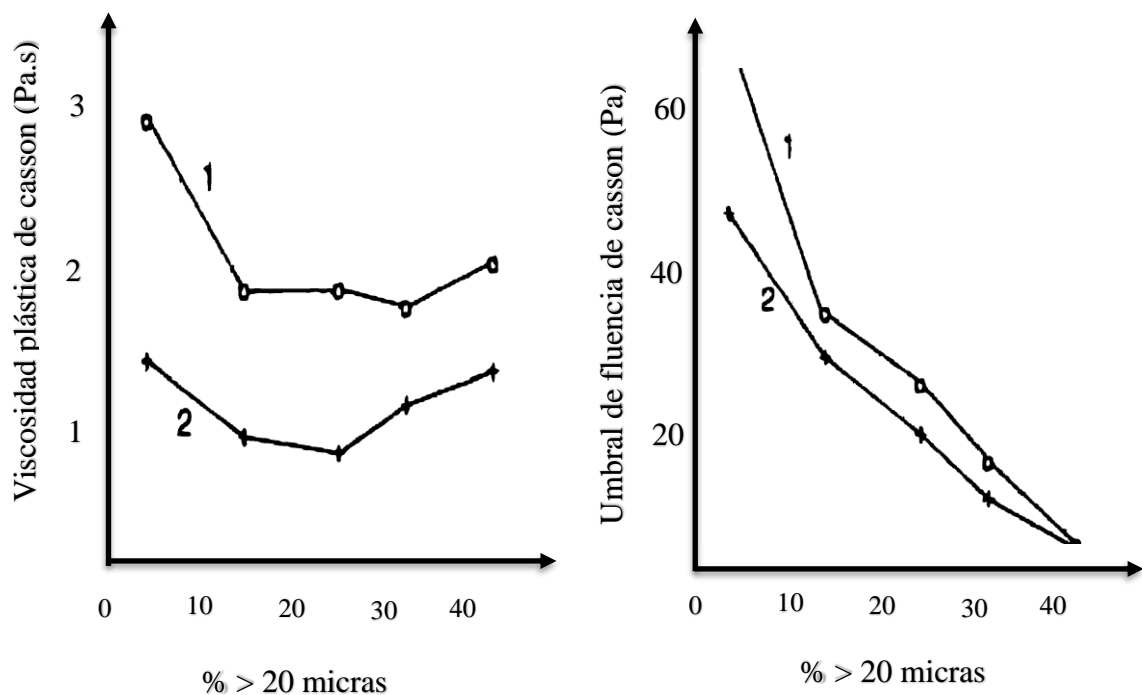
## 2.8.2. TAMAÑO DE PARTÍCULA

Para Arreaga & Martínez (2014), el proceso de la molienda del cacao es aquel que consiste en la ruptura de células duras de los trozos de cacao provenientes del proceso inicial de la molienda, esta ruptura de células genera una liberación de manteca de cacao, la cual representa del 50 al 52 por ciento de este. Mediante el proceso de molienda se desea obtener un grado de finura de 20 a 30  $\mu\text{m}$ , para así de esta manera poder liberar la mayor cantidad de grasa que sea posible. Durante esta operación de rotura de células se genera calor debido al impacto producido por las bolas de acero inoxidable de la cual parte de este calor funde la manteca de cacao y por tanto se necesita que el sistema de molienda sea enfriado por agua

o aire y no debe de superar una temperatura de 70°C. El producto de esta operación unitaria es el denominado licor o pasta de cacao.

Según Beckett (2002), cómo se señaló anteriormente, si hay un número relativamente significativo de partículas mayores a 30 micras (0.03 mm) el chocolate producirá una sensación arenosa en la lengua. Además, una diferencia de 2 - 3 micras en el tamaño máximo de partículas, para valores inferiores a 30 micras, puede detectarse como diferentes niveles de suavidad. Los chocolates con un tamaño máximo de partícula de 20 micras se han comercializado como que poseen la característica de tener una textura sedosa.

El umbral de fluencia aumenta espectacularmente según el chocolate, este tiene un tamaño de partícula menor, pero la viscosidad plástica permanece casi sin cambios, de hecho, desciende un poco en tan solo una fase, esto es debido a que más de la mitad del volumen del chocolate lo ocupan partículas sólidas (Beckett, 2002); esto se observa en la Figura 6.



**Figura 6: La influencia de la fineza de las partículas en los parámetros de viscosidad de dos chocolates con leche**

(1): Treinta por ciento de grasa; (2): Treinta y dos por ciento de grasa.

FUENTE: Beckett (2002)

### **2.8.3. INFLUENCIA DE LA GRASA LÁCTEA EN LA REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA**

La grasa láctea influye en el refinado del chocolate, tanto para la disminución del tamaño de partícula como para la viscosidad; Brown (2009) sostiene que cuanto más grasa de leche, se tendrá un producto más suave, y viceversa. Esto se debe a la incompatibilidad que existe entre la manteca vegetal y grasa de leche cuando se mezclan entre sí.

### **2.9. MOLINO – REFINADOR DE PIEDRAS (PREMIER)**

En el *Premier Chocolate Refiner*<sup>®</sup> se puede elaborar chocolates en lotes pequeños en un taller. Para un iniciador o un profesional experimentado, con los ingredientes correctos y un poco de paciencia, puede disfrutar de deliciosas creaciones de chocolate de sus propias recetas; debido a la ingeniería innovadora y al uso de materiales y componentes de calidad, los refinadores están diseñados para ser fáciles de usar, sin complicaciones, confiables y duraderos, de modo que los usuarios en todos los niveles de habilidad puedan lograr los resultados deseados. En la Figura 7 se aprecia al *Premier Chocolate Refiner*<sup>®</sup>, el cual posee la capacidad de refinar las partículas de cacao hasta menos de 20 micras (Anexo 1). Esto significa que cuando sus recetas hayan terminado de refinarse, su producto final habrá alcanzado un sabor óptimo, con una textura fluida y perfectamente lisa que se puede moldear en barras o incorporar en otras recetas (Diamond Custom Machines, 2020).



**Figura 7: Máquina de molienda y refinado de cacao – Premier**

FUENTE: Diamond Custom Machines (2020)

## 2.10. METODOLOGÍA TAGUCHI

Los diseños experimentales de Taguchi están basados en arreglos ortogonales y se hicieron populares por el ingeniero Genichi Taguchi. Normalmente se identifican con un nombre como  $L_8$ , que indica un arreglo con ocho tratamientos. Los diseños experimentales clásicos también están basados en arreglos ortogonales, pero se identifican con un exponente para indicar el número de variables – así un diseño experimental clásico  $2^3$  también tiene ocho tratamientos. El libro “Estadística para Experimentadores” (algunas veces llamado BH2) define la metodología para los diseños clásicos y su aplicación a la industria (Kavanaugh, 2002).

## 2.11. MÉTODO SUPERFICIE RESPUESTA

Es un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en el tratamiento de problemas, en los que una respuesta de interés está influida por varios factores de carácter cuantitativo. El propósito inicial de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta; y a continuación, determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos. El objetivo final es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta (Fernández, 2013).

Según Fernández (2013), cuando se dice que el valor real esperado  $\eta$ , que toma la variable de interés considerada está influido por los niveles de  $k$  factores cuantitativos,  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , esto significa que existe alguna función de  $X_1, X_2, \dots, X_k$  (que se supone continua en  $X_i, \forall i = 1, \dots, k$ ) que proporciona el correspondiente valor de  $\eta$  para alguna combinación dada de niveles:

$$\eta = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$$

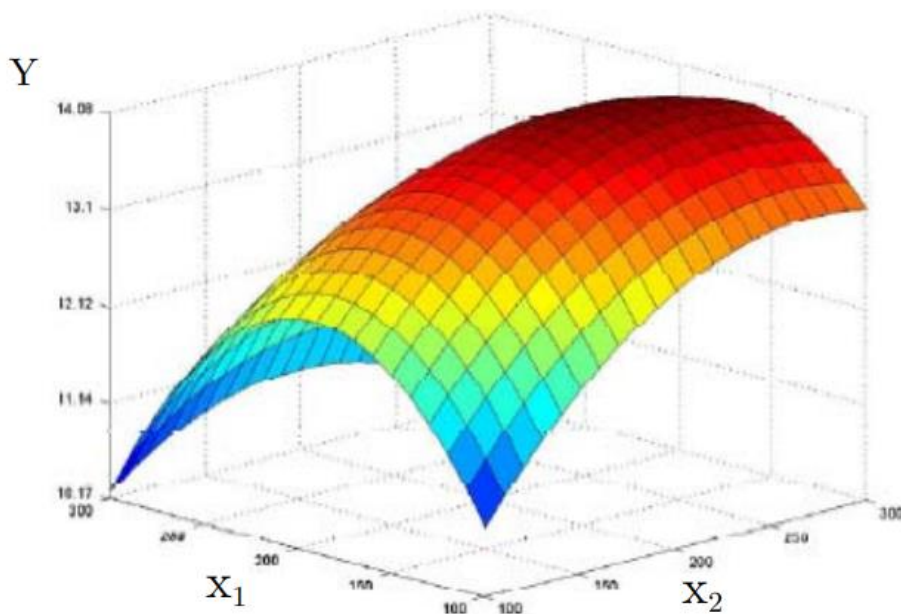
De tal forma que la variable respuesta puede expresarse como:

$$Y = \eta + \varepsilon = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon$$

Donde  $\varepsilon$  es el error observado en la respuesta.

La relación  $\eta = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$  existente entre  $\eta$  y los niveles de los  $k$  factores puede representarse a través de una hipersuperficie (subconjunto de un espacio euclídeo  $(k+1)$ -dimensional) a la que llamaremos superficie de respuesta.

De acuerdo a Fernández (2013), una técnica utilizada para ayudar a visualizar la forma que puede tener una superficie de respuesta tridimensional consiste en representar la gráfica de contornos de la superficie, en la que se trazan las denominadas líneas de contorno, que son curvas correspondientes a valores constantes de la respuesta sobre el plano  $X_1X_2$  (plano cuyos ejes coordenados vienen dados por los niveles  $X_1$  y  $X_2$  de los factores). Geométricamente, cada línea de contorno es una proyección sobre el plano  $X_1X_2$  de una sección de la superficie de respuesta al intersecar con un plano paralelo al  $X_1X_2$ . La gráfica de contornos resulta útil para estudiar los niveles de los factores en los que se da un cambio en la forma o altura de la superficie de respuesta. La existencia de gráficas de contorno no está limitada a tres dimensiones a pesar de que en el caso en que haya más de tres factores de influencia no es posible la representación geométrica (Figura 8). No obstante, el hecho de poder representar gráficas de contorno para problemas en que haya dos o tres factores permite visualizar más fácilmente la situación general.



**Figura 8: Superficie respuesta tridimensional**

FUENTE: Fernández (2013)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Área de Producción de la empresa Industrias Tinkiy S.A.C., ubicada en Santiago de Surco en Lima Metropolitana (RUC: 20601229782). Además, se hizo uso del Laboratorio de Análisis Físico-químico de Alimentos perteneciente a la Facultad de Industrias Alimentarias (FIAL) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en el distrito de La Molina.

#### 3.2. MATERIA PRIMA E INGREDIENTES

Se tomó como material experimental el grano de la Empresa Tinkiy S.A.C. proveniente de la Cooperativa APROCAP; ubicada en La Quemazón, distrito de San Juan Bigote, provincia de Morropón de la Región Piura (latitud -5.30917, longitud:-79.7169 (Anexo 2).

Como insumos se utilizaron: azúcar blanca de la marca Cartavio (Anexo 3), leche entera en polvo marca Belgo Milk Inco (Anexo 4) y manteca de cacao de Machupicchu Foods S.A.C. (Anexo 5). La fórmula del chocolate con leche al 50 por ciento de cacao de Tinkiy se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2: Fórmula de chocolate Tinkiy al 50%**

Insumos	Peso (%)	Peso (g)
Trozos de cacao	35	700
Azúcar blanca	28	560
Leche entera en polvo	22	440
Manteca de cacao	15	300



### **3.3. MAQUINARIA, EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**

#### **3.3.1. MÁQUINAS**

- Tostador estático por convección, Thomas<sup>®</sup>, modelo TH 42N01 (Anexo 6)
- Descascarillador, Delany<sup>®</sup> (Anexo 7)
- Pre molino, Corona<sup>®</sup> (Anexo 8)
- Molino refinador conchador, Premier<sup>®</sup> de Diamond Custom Machines Corporation (DCM)

#### **3.3.2. EQUIPOS**

- Balanza digital, SF-400<sup>®</sup>
- Termómetro láser con pantalla LCD digital, Posenpro<sup>®</sup> (Anexo 9)
- Micrómetro digital de 0 a 25 mm, QLR<sup>®</sup>, modelo: 132-01-830, tornillo palmer digital con fricción sobre el tambor y contactos en metal, con precisión  $\pm 0.003$  a  $\pm 0.004$  mm (Anexo 10)
- Cronómetro, Timex<sup>®</sup>, modelo WR100.
- Secadora de cabello, Siegen<sup>®</sup>, modelo SG-3025

#### **3.3.3. MATERIALES**

- Mesas de acero inoxidable
- Recipiente de plástico 2.5 l
- Espátulas de acero
- Espátulas de goma
- Cucharones plásticos blancos
- Estufa de secadora
- Campana desecadora
- Materiales de vidrio: Baguetas, placas, probetas, vasos, matraz volumétrico

### 3.3.4. REACTIVOS

- Ácido sulfúrico 98.00%
- Hidróxido de sodio 1.25%
- Catalizador de Kjeldhal
- Ácido bórico 4.00%
- Ácido clorhídrico 1.25%
- Éter de petróleo
- Sílica gel

### 3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### 3.4.1. ANÁLISIS PROXIMAL

Los análisis proximales al grano de cacao tostado y descascarillado, se realizaron siguiendo los procedimientos referido por Krysiak (2006):

- **Humedad:** Se realizó por el método de estufa a  $103 \pm 3^{\circ}\text{C}$  durante cuatro (4) horas (AOAC 931.04), y los resultados se presentaron en porcentaje.
- **Proteína cruda:** Se utilizó el método de Kjeldhal (AOAC 960.04), cuyos resultados fueron reportados en porcentaje.
- **Grasa cruda:** Se determinó por método gravimétrico en grasa recuperada aplicando extracción Soxhlet sobre muestra completa con éter de petróleo y extracción con solventes sobre muestra hidrolizada en medio ácido para determinar si había diferencias entre la grasa libre y la ligada (AOAC 963.15). Los resultados se presentaron en porcentaje.
- **Ceniza:** Se determinó por método gravimétrico sometiendo la muestra a calcinación a  $550^{\circ}\text{C}$  durante 6 horas (AOAC 972.15), reportando el aporte de minerales.
- **Fibra cruda:** Se determinó mediante digestión ácida y alcalina (AOAC 930.21), e informando los resultados en porcentaje.

- **Carbohidratos totales:** La determinación de carbohidratos totales se realizó según la metodología utilizada por Álvarez *et al.* (2007): por diferencia del total de los otros componentes del proximal; e informado los resultados en porcentaje, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Carbohidratos totales (\%)} = 100 - [\text{Humedad (\%)} + \text{Proteína cruda (\%)} + \text{Grasa cruda (\%)} + \text{Cenizas (\%)}]$$

### 3.4.2. CONTROLES DE PROCESOS

#### a. MEDIDA DE TEMPERATURA

La medida de la temperatura se realizó con un termómetro láser a una distancia de 5 a 7 cm para tener una mejor lectura de la temperatura durante la molienda y el refinado, y se calentó con aire caliente proveniente de una secadora para mantener constante las temperaturas del diseño experimental (Tabla 3).

**Tabla 3: Metodología experimental para la medición del tamaño de partícula por proceso y subproceso**

Proceso	Factor	Nivel Menor	Nivel Mayor
Molienda	Temperatura de calentamiento T1	40°C	45°C
	Temperatura de calentamiento T2	37°C	42°C
	Temperatura de calentamiento T3	37°C	42°C
	Posición de raspado P1	3.0	3.5
	Posición de raspado P2	4.0	4.5
	Posición de raspado P3	4.5	5.0
	Tiempo de molienda TP1	10 min	20 min
	Tiempo de molienda TP2	40 min	50 min
	Tiempo de molienda TP3	10 min	20 min

«continuación»

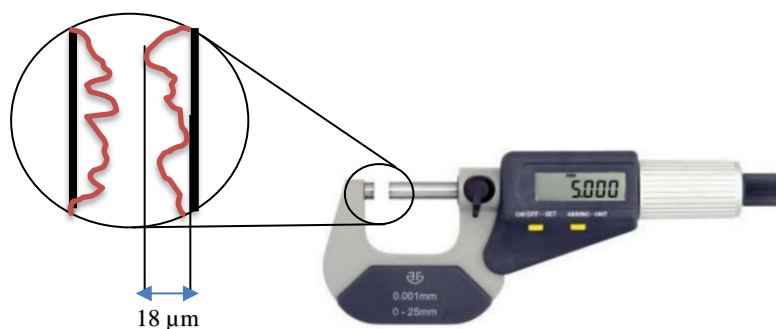
	Temperatura de calentamiento T4	45°C	50°C
	Temperatura de calentamiento T5	43°C	48°C
Refinado	Posición de raspado P4	4.5	5.0
	Posición de raspado P5	4.0	4.5
	Tiempo de refinado TP4	4 horas	5 horas
	Tiempo de refinado TP5	6 horas	7 horas

## b. CONTROL DE TIEMPO

Con un cronómetro, se realizaron las tomas de control de tiempo durante cada tratamiento de molienda y refinado, según el diseño experimental que se muestra en la Tabla 3.

## c. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Se realizó la medida del tamaño de partícula por el método del micrómetro como se muestra en el Anexo 11, que solo detecta partículas grandes (Beckett, 2002). Se limpiaron las superficies planas de las mandíbulas del micrómetro y se ajustó a cero, sucesivamente, se mezcló en un recipiente, 50 partes de aceite de girasol con 50 partes de chocolate fundido, luego se colocó una gota de la emulsión en una de las mandíbulas del micrómetro, se enroscaron las mandíbulas hasta que fácilmente se obtuvo la medición de las partículas del chocolate y se tomó la lectura en micras, finalmente se abrieron las mandíbulas y se limpiaron para la siguiente medida (Figura 9). Se evaluaron tres muestras por tratamiento.

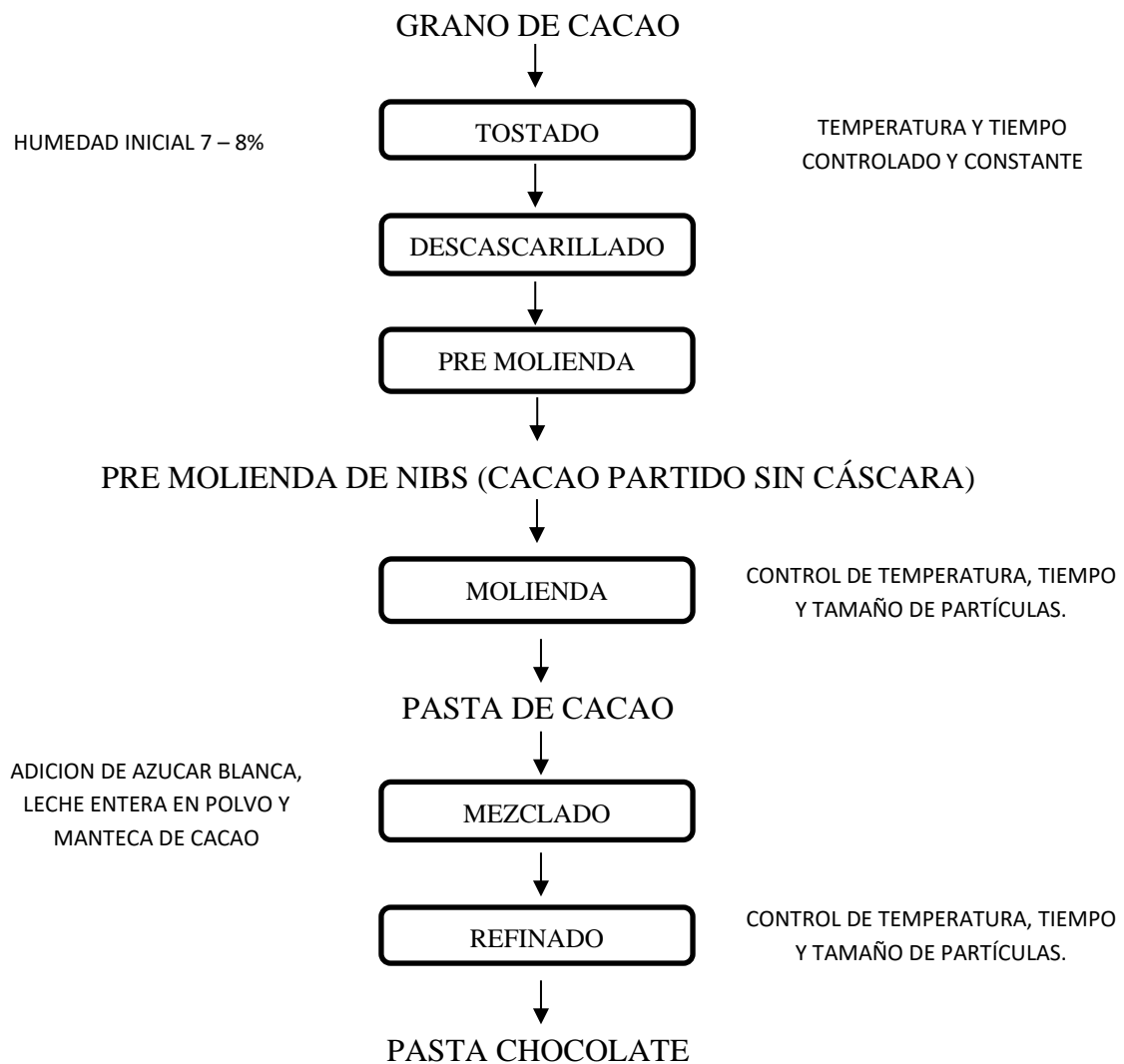


**Figura 9: Principio del micrómetro digital**

FUENTE: Beckett (2002)

### 3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para determinar el menor tamaño de partícula en micras ( $\mu\text{m}$ ) de los productos de la molienda y el refinado se utilizó un micrómetro digital, siendo los parámetros para ensayar en ambos procesos, la temperatura, posición de fricción y tiempo de proceso, aplicados en una máquina que muele, refina y concha (procesos de elaboración de chocolate). En la Figura 10 se muestra el flujo de operaciones para la obtención de la pasta de chocolate.



**Figura 10: Flujo de operaciones para la elaboración de chocolate**

- **Tostado.** Se realizó un tostado igual para todos los tratamientos a  $100^{\circ}\text{C}$  por 40 minutos, en el tostador estático por convección, el cual tiene un control de tiempo automático.

- **Descascarillado.** Se realizó en la máquina descascarilladora donde la principal función es quebrar el grano del cacao tostado, y mediante un ciclón de aire separar la cascara de los trozos de granos quebrados.
- **Pre molienda.** Este proceso fue necesario para facilitar el trabajo del molino-refinador, en el cual se medió las partículas del licor o pasta de cacao inicial. Se realizó en el pre molino.
- **Molienda.** Aquí se controló y manipuló los parámetros de la temperatura (37 - 45°C), la posición de raspado (3 - 5) y del tiempo (60 - 90 min) por intervalos. Al finalizar el proceso de la molienda se medió el tamaño de partícula del licor o pasta de cacao. El control de temperatura se realizó con un termómetro láser.
- **Mezclado.** En esta operación se mezclaron los insumos: azúcar blanca, leche entera en polvo y manteca de cacao, en el orden de mención (Anexo 12).
- **Refinado.** Luego de la integración de los insumos: azúcar blanca, leche entera en polvo y manteca de cacao; se procedió a controlar parámetros: temperatura (43 - 50°C), la el cual se controló mediante un termómetro láser; posición de raspado (4 - 5) y tiempo (10 - 12 horas) por intervalos. Finalmente se midió el tamaño de la partícula del chocolate, esperando obtener la consistencia correcta (rango de partícula 18 - 20  $\mu\text{m}$ ) consistencia untuosa y no áspera. La posición de rapado es aquella que se da lectura en la máquina según un ajuste de posición de las ruedas de granito, la cual genera el raspado para disminuir la partícula en el proceso.

### 3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación tuvo inicialmente en su diseño experimental la aplicación de dos etapas de la optimización por diseños experimentales: *Screening* con el método Taguchi y de Optimización con Superficie de Respuesta, siendo esta última dependiente del resultado de la primera al necesitarse que al menos dos factores tengan efectos significativos ( $p < 0.05$ ) sobre la reducción del tamaño de partículas. Los factores evaluados fueron: la temperatura de calentamiento, posición de fricción y el tiempo de molienda y refinado. Los niveles del ensayo que se muestran en la Tabla 3.

### 3.6.1. MÉTODO TAGUCHI

Se aplicaron los arreglos L<sub>12</sub> y L<sub>8</sub> con tres repeticiones por tratamiento con un nivel de significancia  $p < 0.05$ , para la molienda y el refinado, respectivamente (Anexo 13 y Anexo 14). Los resultados fueron dados como porcentaje de reducción; es decir, correspondientes al tamaño de partícula inicial (100 por ciento). En los productos de ambos procesos, se realizó la medición del tamaño de la partícula correspondiente (resultado final del tratamiento), obteniéndose la resta de este valor al de la inicial (100 por ciento) la variación porcentual, que se compara con el tamaño inicial, expresado en porcentaje (Ureña *et al.*, 2020). El grado de reducción ideal es de 18 - 20  $\mu\text{m}$  para el chocolate final, el cual asegura un producto de óptima calidad.

$$\text{Resultado Final} = [(\text{Tamaño inicial} - \text{Tamaño final}) / \text{Tamaño inicial}] * 100 \quad \text{Ec (1)}$$

Considerando las cifras del resultado final para el método Taguchi, se aplica el principio de “Mayor es mejor”. Los límites de reducción de partícula no deben ser inferiores a 14  $\mu\text{m}$ , este valor hace posible detectar sensorialmente el producto, asimismo en el ahorro energético mientras más rápido se realice la disminución mayor será el ahorro.

En la Tabla 4 se muestran los 12 tratamientos con 3 repeticiones de la molienda sin randomizar para un arreglo L<sub>12</sub> (Anexo 15), en estos se muestran los factores de temperatura, posición de fricción y tiempo de proceso utilizando el método Taguchi.

**Tabla 4: Tratamientos de la molienda sin randomizar para un arreglo L<sub>12</sub>**

Tratamientos	Réplica	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	P1	P2	P3	TP1 (min)	TP2 (min)	TP3 (min)
1	1	40	37	37	3.0	4.0	4.5	10	40	10
2	1	40	37	37	3.0	4.0	5.0	20	50	20
3	1	40	37	42	3.5	4.5	4.5	10	40	20
4	1	40	42	37	3.5	4.5	4.5	20	50	10
5	1	40	42	42	3.0	4.5	5.0	10	50	10
6	1	40	42	42	3.5	4.0	5.0	20	40	20
7	1	45	37	42	3.5	4.0	4.5	20	50	10
8	1	45	37	42	3.0	4.5	5.0	20	40	10
9	1	45	37	37	3.5	4.5	5.0	10	50	20
10	1	45	42	42	3.0	4.0	4.5	10	50	20

«continuación»

11	1	45	42	37	3.5	4.0	5.0	10	40	10
12	1	45	42	37	3.0	4.5	4.5	20	40	20
13	2	40	37	37	3.0	4.0	4.5	10	40	10
14	2	40	37	37	3.0	4.0	5.0	20	50	20
15	2	40	37	42	3.5	4.5	4.5	10	40	20
16	2	40	42	37	3.5	4.5	4.5	20	50	10
17	2	40	42	42	3.0	4.5	5.0	10	50	10
18	2	40	42	42	3.5	4.0	5.0	20	40	20
19	2	45	37	42	3.5	4.0	4.5	20	50	10
20	2	45	37	42	3.0	4.5	5.0	20	40	10
21	2	45	37	37	3.5	4.5	5.0	10	50	20
22	2	45	42	42	3.0	4.0	4.5	10	50	20
23	2	45	42	37	3.5	4.0	5.0	10	40	10
24	2	45	42	37	3.0	4.5	4.5	20	40	20
25	3	40	37	37	3.0	4.0	4.5	10	40	10
26	3	40	37	37	3.0	4.0	5.0	20	50	20
27	3	40	37	42	3.5	4.5	4.5	10	40	20
28	3	40	42	37	3.5	4.5	4.5	20	50	10
29	3	40	42	42	3.0	4.5	5.0	10	50	10
30	3	40	42	42	3.5	4.0	5.0	20	40	20
31	3	45	37	42	3.5	4.0	4.5	20	50	10
32	3	45	37	42	3.0	4.5	5.0	20	40	10
33	3	45	37	37	3.5	4.5	5.0	10	50	20
34	3	45	42	42	3.0	4.0	4.5	10	50	20
35	3	45	42	37	3.5	4.0	5.0	10	40	10
36	3	45	42	37	3.0	4.5	4.5	20	40	20

En la Tabla 5 se muestran los 8 tratamientos con 3 repeticiones del refinado sin randomizar para un arreglo L<sub>8</sub> en los cuales se muestran los factores de temperatura, posición de fricción y tiempo de proceso utilizando el método Taguchi (Anexo 16).

**Tabla 5: Tratamientos del refinado sin randomizar para un arreglo L<sub>8</sub>**

Experimento	Réplica	T4 (°C)	T5 (°C)	P4	P5	TP4 (horas)	TP5 (horas)
1	1	50	48	4.5	4.5	4	6
2	1	50	48	4.5	4.0	5	7
3	1	50	43	5.0	4.5	4	7
4	1	50	43	5.0	4.0	5	6
5	1	45	48	5.0	4.5	5	6



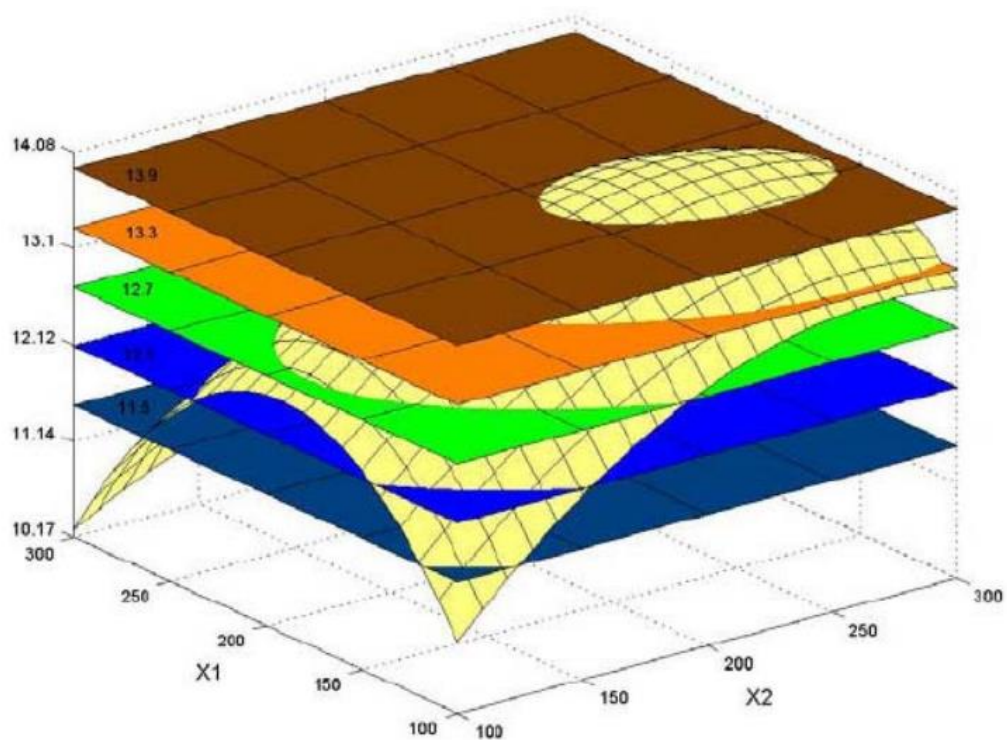
«continuación»

6	1	45	48	5.0	4.0	4	7
7	1	45	43	4.5	4.5	5	7
8	1	45	43	4.5	4.0	4	6
9	2	50	48	4.5	4.5	4	6
10	2	50	48	4.5	4.0	5	7
11	2	50	43	5.0	4.5	4	7
12	2	50	43	5.0	4.0	5	6
13	2	45	48	5.0	4.5	5	6
14	2	45	48	5.0	4.0	4	7
15	2	45	43	4.5	4.5	5	7
16	2	45	43	4.5	4.0	4	6
17	3	50	48	4.5	4.5	4	6
18	3	50	48	4.5	4.0	5	7
19	3	50	43	5.0	4.5	4	7
20	3	50	43	5.0	4.0	5	6
21	3	45	48	5.0	4.5	5	6
22	3	45	48	5.0	4.0	4	7
23	3	45	43	4.5	4.5	5	7
24	3	45	43	4.5	4.0	4	6

### 3.6.2. MÉTODO SUPERFICIE RESPUESTA

Según Gutiérrez (2008), una vez encontrados los factores significativos, se realiza la identificación de la variable respuesta, que es la mayor reducción de tamaño de partícula, la cual representa la función  $Y = f(X^1, X^2, \dots, X^n)$  entre Y y los niveles de los n factores  $X^1, X^2, \dots, X^n$  representa una superficie. Con n factores la superficie está en n + 1 dimensiones; como en la Figura 11.

Para el método de Superficie de Respuesta, se trabajó con el objetivo de que la variable respuesta tienda a ser mayor, es decir: “mayor reducción de tamaño de partícula, es mejor”.



**Figura 11: Análisis de superficie respuesta**

### 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó con el Statgraphics Centurión XVIII para el cual se utilizó un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

- Para la caracterización de los granos de cacao tostados, se realizaron tres réplicas, y se reporta como promedio y su desviación es estándar.
- Mediante la metodología Taguchi se evaluaron los parámetros de temperatura de calentamiento, posición de fricción y tiempo de proceso, que minimicen el tamaño de partícula en arreglos ortogonales  $L_{12}$  y  $L_8$  para la molienda y el refinado, en donde se realizaron 36 y 24 tratamientos, respectivamente.
- Los datos de molienda y refinado en los arreglos  $L_{12}$  y  $L_8$  se insertaron en el programa de Statgraphics Centurión XVIII de manera aleatoria (*random*) para determinar si existen efectos significativos de los factores ensayados.

- Como el resultado de aplicar el método Taguchi no tuvo factores con efectos significativos, no se aplicó el Método de Superficie de Respuesta, quedando solo por reportar los valores de los niveles de los factores que mejoraron la molienda y refinado (reducción de tiempo de proceso).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS PROXIMAL DEL GRANO DE CACAO TOSTADO

En la Tabla 6 se observan los resultados promedio del análisis proximal de la muestra de grano de Piura tostado y descascarillado, expresado como peso en gramos por 100 g de muestra inicial, obtenidos del promedio de los resultados de cada ensayo por triplicado (Anexo 17).

**Tabla 6: Análisis proximal del grano de cacao de Piura tostado**

Componente	Valor base húmeda (%)	Valor base seca (%)
Humedad	4.51 ± 0.10	--
Ceniza	3.32 ± 0.00	3.48 ± 0.00
Grasa cruda	47.47 ± 0.15	49.71 ± 0.15
Proteína cruda	13.81 ± 0.20	14.49 ± 0.21
Fibra cruda	5.25 ± 0.35	5.49 ± 0.36
Carbohidratos totales	30.89 ± 0.40	32.35 ± 0.39

La humedad del grano de cacao fue de  $4.51 \pm 0.10$  por ciento; según Beckett (2002), normalmente se sube la temperatura de tostado hasta entre 110 y 140°C cuando el contenido en humedad se ha reducido a un valor inferior al tres por ciento. Habitualmente el proceso global de tostado dura entre 45 minutos y una hora. La posible diferencia de los resultados a lo citado puede ser la temperatura y tiempo que se utilizó en el experimento que fue de 100°C por 40 minutos. La humedad es un factor que facilita los procesos de descascarado, molienda y refinado.

El porcentaje de grasa cruda obtenido fue de  $49.71 \pm 0.21$  por ciento, este resultado es similar al estudio de Cubero (1990), quien muestra la composición química que tiene un cacao de la

zona de Costa Rica. El grano de cacao contiene alrededor de 55 por ciento de manteca de cacao (Afoakwa, 2010; Beckett, 2002). El resultado obtenido para el cacao de origen Piura es diferente por la genética, suelo, clima entre otros factores y estos hacen que cada cacao tenga diferentes características; entre estas esta la grasa que en mayor porcentaje ayuda en ciertos procesos como la molienda y refinado, y en menor porcentaje dificulta estos procesos, respectivamente; asimismo porcentajes menores de grasa facilita el proceso de temperado.

Los valores del análisis proximal para la proteína cruda fueron de 14.46 por ciento, cenizas 3.48 por ciento, fibra cruda 5.49 por ciento y carbohidratos totales 32.35 por ciento para el cacao de origen Piura. Según Guzmán *et al.* (2020), el cacao de origen venezolano *porcelana* es similar al *gran blanco* de Piura; en un análisis proximal la proteína cruda del cacao fue de 12.31 por ciento, la cantidad de ceniza fue de 4.59 por ciento y la cantidad de fibra cruda fue de 5.41 por ciento.

## **4.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE PROCESO QUE MINIMIZAN EL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA MOLIENDA**

### **4.2.1 REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA MOLIENDA**

La reducción del tamaño de partícula está influenciado directamente por los factores de proceso que se han definido en la investigación; la temperatura es un factor importante puesto que la manteca cacao tiene una temperatura de fusión de 33°C (Beckett, 2002); y en el diseño experimental se utilizaron temperaturas superiores para obtener la pasta de cacao o chocolate, otro factor de suma importancia es la temperatura que se genera por la posición de fricción o cizalla por la cual hay fractura del cacao hasta llegar a una disminución de partícula y por último un factor importante para el tema de productividad es el tiempo de proceso que varía según la composición que tenga el grano (cantidad de grasa) y también los anteriores factores mencionados. Para la molienda se realizaron experimentos según la metodología Taguchi en donde el óptimo es la afirmación de “mayor es mejor”

### **4.2.2. TAMAÑO DE PARTÍCULA EN MOLIENDA L<sub>12</sub>**

En el proceso de la molienda se realizaron 36 tratamientos, en los cuales se midió el tamaño de la partícula inicial y final (Tabla 7), utilizando la ecuación 1 para determinar la variación

porcentual del tamaño de partícula y de esta manera definir el tratamiento de mayor reducción de tamaño de partícula. Seguidamente se reportó los valores de tamaño de partícula promedio.

**Tabla 7: Tamaño de partícula inicial ( $\mu\text{m}_0$ ) y final ( $\mu\text{m}_f$ ) de cada experimento y la variación porcentual ( $\%\Delta$ ) para la molienda**

Tratamiento	$\mu\text{m}_0$	$\mu\text{m}_f$	$\Delta\text{T.P}$	$\%\Delta$
1	211.3	33.3	178.0	84
2	199.7	31.3	168.3	84
3	259.3	32.7	226.7	87
4	246.0	31.7	214.3	87
5	234.0	33.7	200.3	86
6	250.0	25.3	224.7	90
7	284.7	22.0	262.7	92
8	338.7	22.3	316.3	93
9	259.7	25.3	234.3	90
10	271.3	21.0	250.3	92
11	203.0	28.7	174.3	86
12	258.7	15.7	243.0	94
13	243.3	29.7	213.7	88
14	221.7	21.3	200.3	90
15	217.7	31.0	186.7	86
16	348.3	28.0	320.3	92
17	291.0	29.3	261.7	90
18	295.3	27.0	268.3	91
19	289.0	24.7	264.3	91
20	127.5	27.7	99.8	78
21	303.7	24.7	279.0	92
22	236.0	20.7	215.3	91
23	344.7	27.0	317.7	92
24	324.3	23.7	300.7	93
25	225.3	33.0	192.3	85
26	246.0	23.0	223.0	91
27	235.0	31.3	203.7	87
28	258.0	25.7	232.3	90
29	266.7	30.7	236.0	89
30	236.7	28.0	208.7	88
31	263.0	24.7	238.3	91
32	279.7	23.3	256.3	92

«continuación»

33	227.7	22.3	205.3	90
34	210.7	24.3	186.3	88
35	219.0	24.7	194.3	89
36	303.3	22.0	281.3	93
Promedio	256.4	26.4	230.0	89
Desv. Est.	45.5	4.3	46.9	3.3

Los valores de la Tabla 8 muestran los factores de los tratamientos del tamaño de partícula durante la molienda (Anexo 18), de los cuales los tratamientos 12, 24 y 36 fueron los que obtuvieron mayor porcentaje de reducción de partícula con 94, 93 y 93 por ciento; sus factores fueron: temperatura, posición de fricción y tiempo de proceso.

**Tabla 8: Factores de los mayores porcentajes de reducción de partícula**

Tratamiento	T1	T2	T3	P1	P2	P3	TP1	TP2	TP3	$\mu\text{m}_0$	$\mu\text{mf}$
	(°C)	(°C)	(°C)								
12	45	42	37	3	4.5	4.5	20	20	20	258.7	15.7
24	45	42	37	3	4.5	4.5	20	20	20	324.3	23.7
36	45	42	37	3	4.5	4.5	20	20	20	303.3	22.0
Promedio										295.4	20.47

T: temperatura, P: posición de raspado. TP: tiempo de la operación unitaria.

El valor promedio inicial de tamaño de partícula del cacao fue de 295.4  $\mu\text{m}$  lo cual mediante la molienda se ha reducido a 20.47  $\mu\text{m}$  esto demuestra que hay una reducción de más de 10 veces el valor; Beckett (2002) menciona que la mayoría de las máquinas de molienda pueden trabajar de un modo eficiente si la reducción en el tamaño es de unas 10 veces, de modo que al menos son necesarias dos etapas de molienda (pre-molienda y molienda).

Una de las razones de disminuir el tamaño de partícula del grano de cacao es la extracción de la grasa por lo que es importante tener un tamaño de partículas menor o igual a 30  $\mu\text{m}$  con lo cual se asegura una suficiente cantidad de grasa que pueda recubrir las partículas no grasas. Para Beckett (2002), la grasa está localizada en unas células de un tamaño medio entre 20 y 30 micras de longitud y de entre cinco y 10 micras de ancho/profundidad. Esto significa que como la molienda reduce el tamaño de las células, la pasta de cacao producida se vuelve más fluida, hay más grasa alrededor. Llega un momento en el que ya no se puede

liberar más la grasa, por lo que una molienda posterior solo genera superficies provenientes de las células que deben ser cubiertas con grasa. Esto hace que la pasta de cacao se vuelva de nuevo espesa. En la parte experimental el tamaño de partícula promedio final de la molienda fue de 26,4  $\mu\text{m}$ , se realizó las medidas con el micrómetro digital, por lo cual es un parámetro adecuado de calidad ya que un tamaño de partícula menor a 30  $\mu\text{m}$ , la grasa se libera para poder obtener mayor fluidez en el chocolate; esto es beneficioso para el proceso posterior que es el refinado.

Con respecto a la temperatura que se utilizó para los tratamientos fueron de 37°C a 45°C que se controló con termómetro láser por etapas, para evitar la subida de temperatura por fricción; según Burgos *et al.* (2019), la temperatura de la molienda no debe superar los 50°C, en caso contrario se puede quemar la muestra o liberar compuestos volátiles.

Para la molienda existen diferentes tipos de molino; para este estudio se utilizó molino de piedras (este equipo es muy utilizado en la industria de chocolate artesanal), en este se evaluó las variables de temperatura, tiempo y posición de fricción, estas variables fueron controladas por aparatos de medición como micrómetro, termómetro láser y presión de tornillo; en otras máquinas más automatizadas ya tienen en la máquina como por ejemplo molino de billas o un molino de paletas. Para Alamprese *et al.* (2007), quizás el más común se basa en la recirculación a través de un molino de bolas que emplea el movimiento relativo de elementos sueltos (bolas) para generar una acción de rectificando. Ellos son típicamente cilindros verticales u horizontales, equipados con un eje giratorio con brazos, lleno hasta el 90 por ciento del volumen disponible. Según Ziegler (1999) el material de alimentación en forma de suspensión se bombea a la cámara de molienda y se tritura entre los medios móviles, el agitador y la molienda pared de la cámara por compresión y corte. Un sistema de control de temperatura (compuesto por una chaqueta de agua equipada con sensores de temperatura y termorreguladores controlados por tablero eléctrico) permite la fusión inicial de grasas sólidas, asegura que el producto no sufra daños térmicos, como un aroma quemado o descomposición de derivados de la leche, y realiza la acción sustitutiva del conchado tradicional.



### 4.2.3. ANÁLISIS POR EL MÉTODO TAGUCHI PARA LA MOLIENDA

Este método de análisis se usa para procesar un gran número de procesamientos simulados de límites superiores a inferiores, en este caso la Tabla 9 muestra los resultados del análisis de varianza de la molienda de cacao y además se tiene una gráfica de efectos para porcentajes de reducción donde los factores evaluados no tienen efecto significativo (Anexo 19).

**Tabla 9: Análisis de varianza para tamaño de partícula (media)**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:T1	0.00107037	1	0.00107037	0.86	0.4522
B:T2	0.00133704	1	0.00133704	1.07	0.4094
C:T3	0.00163333	1	0.00163333	1.31	0.3711
D:P1	0.0025037	1	0.0025037	2.01	0.2924
E:P2	0.00133704	1	0.00133704	1.07	0.4094
F:P3	0.000237037	1	0.000237037	0.19	0.7055
G:TP1	0.00163333	1	0.00163333	1.31	0.3711
H:TP2	0.0000925926	1	0.0000925926	0.07	0.8109
I:TP3	0.00037037	1	0.00037037	0.30	0.6406
Error total	0.0024963	2	0.00124815		
Total (corr.)	0.0127111	11			

La Tabla 10 muestra los valores de los niveles que toman los factores evaluados para tener como resultado el mínimo valor de tamaño de partícula en la molienda, que corresponde a las temperaturas cercanas a las más altas (T1, T2 y T3) y posiciones de raspado más altos (P1, P2 y P3); valores que están dentro de los parámetros de producción adecuados de chocolate de cacao fino y aroma (Anexo 20).

**Tabla 10: Respuesta óptima del tamaño de partícula en la molienda**

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
T1 (°C)	40.0	45.0	44.99
T2 (°C)	37.0	42.0	41.79
T3 (°C)	37.0	42.0	42.00
P1	3.0	3.5	3.49
P2	4.0	4.5	4.49
P3	4.5	5.0	4.99
TP1 (min)	10.0	20.0	19.74
TP2 (min)	40.0	50.0	44.05
TP3 (min)	10.0	20.0	18.37

### 4.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE PROCESO QUE MINIMIZAN EL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL REFINADO

#### 4.3.1. REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN EL REFINADO

La reducción del tamaño de partícula en el refinado está influenciado directamente por la adición de los insumos azúcar blanca, manteca de cacao y leche entera en polvo, además de factores de proceso que se han definido en la investigación; la temperatura superior a 40°C (los valores se visualizan en la Tabla 5), el calor que se genera por la posición de fricción o cizalla por la cual hay fractura de pasta de cacao y demás insumos hasta llegar a una disminución de partícula y por último un factor importante para el tema de productividad es el tiempo de proceso.

Para el refinado se realizaron experimentos según la metodología Taguchi en donde el óptimo es la afirmación de “mayor es mejor”.

#### 4.3.2. TAMAÑO DE PARTÍCULA EN REFINADO L8

En la Tabla 11 se muestran los 24 tratamientos del refinado sin randomizar para un arreglo L<sub>8</sub> en los cuales se muestran los factores de temperatura, posición de raspado y tiempo de proceso, utilizando el método Taguchi; además se adiciona otros insumos como azúcar blanca y manteca de cacao durante el inicio del refinado (Anexo 21).

**Tabla 11: Tamaño de partícula inicial ( $\mu\text{m}_0$ ) y final ( $\mu\text{m}_f$ ) de cada experimento y la variación porcentual ( $\%\Delta$ ) para el refinado**

Tratamiento	$\mu\text{m}_0$	$\mu\text{m}_f$	$\Delta\text{T.P}$	$\%\Delta$
1	155	23	132	85
2	127	20	107	84
3	137	24	113	83
4	127	24	103	81
5	128	24	104	81
6	115	23	92	80
7	146	20	125	86
8	127	28	99	78
9	118	25	93	79
10	120	23	97	81
11	99	21	79	79

«continuación»

12	115	27	88	77
13	120	23	97	81
14	124	25	99	80
15	144	22	122	84
16	133	27	106	79
17	115	26	89	77
18	176	22	153	87
19	105	23	82	78
20	107	24	82	77
21	98	24	74	76
22	99	22	76	77
23	102	21	81	80
24	101	22	79	78
Promedio	122	24	99	81
Desv. Est.	19.0	2.0	19.0	3.0

La evaluación de la distribución del tamaño de partícula en el chocolate requiere considerar un entrenamiento de catadores de cacao y chocolate con respecto al tamaño de partícula. Por ejemplo, a un tamaño máximo de partículas de 30  $\mu\text{m}$  se percibe un producto como "arenoso o áspero" en la boca. El tamaño de partícula afecta la viscosidad y la textura, y un chocolate molido a un tamaño máximo de partícula de 20  $\mu\text{m}$  tendrá un sabor y textura más cremosa que con 30  $\mu\text{m}$ . La distribución del tamaño de partícula juega un papel claro en la fluidez del proceso, pero es generalmente restringido al conocimiento empírico basado en la experiencia (Afoakwa, 2010). En el experimento el tamaño de partícula final de los tratamientos con mayor porcentaje de reducción varió entre un rango de 20 y 23  $\mu\text{m}$ , lo cual es un valor *bajo*, pero según la experiencia de la empresa Tinkiy el tamaño de partícula óptimo debería estar en un rango de 19 - 21  $\mu\text{m}$  para poder detectar los sabores. Por lo tanto, el tiempo ensayado no fue el suficiente para llegar a este valor referencial.

En el refinado las variables: temperatura, tiempo y posición de raspado son muy importantes para lograr una calidad óptima, el momento de la adición de los insumos que es al inicio del refinado es importante porque antes de mezclar se tiene que lograr el objetivo de la molienda el cual es disponer la mayor cantidad de grasa para poder envolver las partículas no grasa. Para Regalado & Sánchez (2015), uno de los retos en la elaboración del chocolate es la mezcla de los tres sólidos pasta de cacao, azúcar y manteca de cacao, en proporción adecuada con el objetivo de usar los diversos productos del chocolate. En la etapa de mezclado se combinan los ingredientes mayores como azúcar, leche de vaca, manteca y licor de cacao,

con el objetivo de formar una masa homogénea que tenga un desempeño adecuado en las próximas etapas.

Existe un efecto que se mantuvo presente en el refinado, que a mayor tamaño de partícula mayor es la viscosidad es por eso que existe una relación directa entre la viscosidad y la disminución del tamaño de partícula. Según Beckett (2002) las partículas más pequeñas son más importantes en las propiedades de fluencia del chocolate, se debe a la gran cantidad de grasa que es necesaria para recubrirlas de manera que se puedan desplazar unas junto a otras en el chocolate líquido.

#### 4.3.3. ANÁLISIS POR EL MÉTODO TAGUCHI PARA EL REFINADO

En la Tabla 12 se presentan los resultados obtenidos al aplicar el método Taguchi, donde los factores evaluados no tienen efecto significativo sobre la reducción del tamaño de partícula (Anexo 22).

**Tabla 12: Análisis de varianza para tamaño de partícula (media)**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:T4	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
B:T5	0.00108889	1	0.00108889	49.00	0.0903
C:P4	0.00000555556	1	0.00000555556	0.25	0.7048
D:P5	0.0032	1	0.0032	144.00	0.0529
E:TP4	0.000138889	1	0.000138889	6.25	0.2422
F:TP5	0.000138889	1	0.000138889	6.25	0.2422
Error total	0.0000222222	1	0.0000222222		
Total (corr.)	0.00459444	7			

La posición de raspado causa un efecto de cizalla lo cual hace que la temperatura suba a cierto límite en proporción a la masa y velocidad de giro de la máquina, este efecto hace que a mayor velocidad y masa mayor será la temperatura que se genera por la posición de raspado en el refinado (la temperatura se mide con el termómetro láser como se puede observar en la Tabla 5). De acuerdo a Beckett (2002), este es esencialmente un proceso de recubrimiento de las partículas con grasa. Como en la molturación la cizalla es un factor importante, esto es de particular importancia en la fabricación de chocolate debido a que es deseable hacer que el chocolate fluya en la medida de lo posible (que tenga la menor viscosidad posible) con cualquier contenido de grasa.

La Tabla 13 muestra los valores de los niveles que toman los factores evaluados para tener como resultado el mínimo valor de tamaño de partícula en el refinado, que corresponde a las temperaturas cercanas a las más altas (T4, T5 y TP5) y más baja (TP4) y posiciones de raspado más bajas (P4 y P5); valores que están dentro de los parámetros de producción adecuados de chocolate artesanal de cacao fino y aroma (Anexo 23).

**Tabla 13: Respuesta óptima del tamaño de partícula en el refinado**

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
T4 (°C)	45.0	50.0	49.15
T5 (°C)	43.0	48.0	48.00
P4	4.5	5.0	4.50
P5	4.0	4.5	4.00
TP4 (horas)	4.0	5.0	4.00
TP5 (horas)	6.0	7.0	6.99

El método del micrómetro actualmente es usado en la industria del cacao a chocolate a nivel de pequeña a grande escala de procesamiento, por ser de bajo costo y rápido, es por eso que se usó este método que funciona bien y lo podemos respaldar en la calidad del tamaño de partícula de los chocolates de las empresas MYPES como: Tinkiy, Cacaosuyo, Marana, Kuyay, entre otros; que utilizan este método en el control de sus procesos de elaboración, reportando valores de tamaño de partículas “mayor”, mientras que existen métodos en los cuales se usan instrumentos como analizadores de partículas que son de costo y mantenimiento elevado y que reportan el tamaño de partícula y su distribución.

Si el tamaño de partícula disminuye por debajo de 15 o 14  $\mu\text{m}$  ocurre que la viscosidad aumenta, puesto que se necesitaría mucha más grasa para poder cubrir las partículas. Según Beckett (2000), se ha mostrado que las partículas finas hacen el chocolate más espeso porque reducen la cantidad de grasas presente en el chocolate que puede permitir que las partículas pasen unas junto a las otras. Sin embargo, no afectan a los parámetros de flujo del mismo modo.

#### 4.4. VALORES QUE OPTIMIZAN LA MOLIENDA Y EL REFINADO

En la Tabla 14, se presentan los valores obtenidos del método Taguchi de los factores que se han evaluado en la molienda y en el refinado y que hacen mínimo el tamaño de partícula en la pasta de cacao del chocolate de leche formulado para la investigación.

**Tabla 14: Factores óptimos según el método Taguchi para la molienda y refinado**

Operación unitaria	Factor	Parámetro
Molienda	Temperatura de calentamiento T1	45°C
	Temperatura de calentamiento T2	42°C
	Temperatura de calentamiento T3	42°C
	Posición de raspado P1	3.5
	Posición de raspado P2	4.5
	Posición de raspado P3	5.0
	Tiempo de molienda TP1	20 min
	Tiempo de molienda TP2	44 min
	Tiempo de molienda TP3	18 min
Refinado	Temperatura de calentamiento T4	50°C
	Temperatura de calentamiento T5	48°C
	Posición de raspado P4	4.5
	Posición de raspado P5	4.0
	Tiempo de refinado TP4	4 horas
	Tiempo de refinado TP5	7 horas

#### 4.5. ANÁLISIS PROXIMAL DEL CHOCOLATE AL 50% DESPUÉS DE LA OPTIMIZACIÓN

En la Tabla 15 se observan los resultados promedio del análisis proximal de la muestra de chocolate con parámetros optimizados, expresado como peso en gramos por 100 g de muestra, obtenidos del promedio de los resultados de cada ensayo por triplicado (Anexo 24).

**Tabla 15: Análisis proximal del chocolate al 50% de cacao**

Componente	Valor base húmeda (%)	Valor base seca (%)
Humedad	2.92 ± 0.12	--
Ceniza	2.42 ± 0.13	2.50 ± 0.19
Grasa cruda	39.72 ± 0.16	40.91 ± 0.15
Proteína cruda	10.07 ± 0.13	10.34 ± 0.14
Fibra cruda	5.18 ± 0.35	5.34 ± 0.36
Carbohidratos totales	44.87 ± 0.49	46.22 ± 0.46

Los valores proximales del chocolate elaborado (con los valores óptimos que se muestran en la Tabla 15) se asemejan a algunos valores con formulaciones similares de empresas peruanas. Bastidas (2016) realizó un análisis proximal para el chocolate Piura Milk de la empresa Cacaosuyo, en su análisis químico-proximal, el contenido de carbohidratos totales y grasa cruda fue de 42.98 - 47.49% y 40.91 - 39.07%, respectivamente. Además, tiene una tabla de valores proximales que se muestran en el Anexo 25. Esto significa que con las modificaciones en el proceso no hay diferencia significativa en los valores de un chocolate de calidad, por lo tanto, es un buen indicador de calidad de proceso.

#### **4.6. MEDICIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA FINAL**

Los valores de tamaño de partícula con parámetros óptimos para el proceso de elaboración se midieron en tres repeticiones las cuales fueron: 22.0, 21.0 y 20.5  $\mu\text{m}$  por lo cual el promedio es de 21.16  $\mu\text{m}$ . Para Beckett (2000) el tamaño de partícula de un chocolate final varía entre 19 y 20  $\mu\text{m}$  por lo cual estamos muy cerca de este valor.

La empresa Tinkiy realiza diversos controles de calidad dentro de los cuales unos de los más importantes es el tamaño de partícula, el cual refleja un proceso óptimo del punto de vista físico es por eso que el parámetro a conseguir es un tamaño de 19  $\mu\text{m}$ ; la tesis plantea cómo lograr este resultado modificando algunos parámetros como: la temperatura de proceso, posición de raspado o tiempo de proceso. Además, existen parámetros que indirectamente se ven condicionados por el tamaño de partícula como: la fluidez, el temperado y la sensación de aromas en el chocolate.

## 4.7. REDUCCIÓN DE COSTOS UTILIZANDO LOS VALORES QUE OPTIMIZAN LA MOLIENDA Y EL REFINADO

### 4.7.1. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costo se hace en base a los insumos y la energía que se usa para producir cada unidad, donde la parte de insumos es constante mientras que la energía es la variable; el costeo se realizó para proceso normal y para proceso óptimo. Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. En una compañía estándar, la diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indica el beneficio bruto (FAO, 2008).

En la Tabla 16 se muestra el precio por kilogramo del cacao partido sin cáscara, con azúcar blanca, leche entera en polvo y manteca de cacao; estos son insumos directos para los procesos de molienda y refinado. Los costos que se pueden asociar directamente a la producción son principalmente la mano de obra directa, materias primas y empaques (FAO, 2008):

**Tabla 16: Insumos usados para la elaboración del chocolate**

Insumo	Precio (S/. x kg)
Grano de cacao partido sin cascara	28.43
Manteca de cacao	45.00
Azúcar blanca	3.00
Leche entera en polvo	17.23

- Materia prima: este rubro está integrado por las materias primas principales y subsidiarias que intervienen directa o indirectamente en los procesos de transformación ya que la característica esencial de esta actividad es manufacturera.
- Mano de Obra Directa (MOD): Incluye los sueldos de los obreros y/o empleados cuyos esfuerzos están directamente asociados al producto elaborado.

La formulación para la elaboración del chocolate en el proceso de molienda y refinado es la utilizada por la empresa Industrias Tinkiy S.A.C. (Tabla 17), en donde la pasta de cacao se



obtiene en la molienda y luego la mezcla de azúcar blanca, leche entera en polvo y manteca de cacao en el refinado; la fórmula dada se hizo para dos kilogramos de pasta de chocolate.

**Tabla 17: Fórmula de chocolate (Tinkiy fórmula)**

Fórmula de chocolate	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Peso (kg)
Pasta de cacao	35	50	0.74
Manteca de cacao	15		0.30
Azúcar blanca	28	28	0.56
Leche entera en polvo	22	22	0.40
Total		100	2.00

El costo de producto por unidad basado solo en insumos se muestra en la Tabla 18, donde este no considera los costos de producción que vienen asociados a los procesos de molienda y refinado, los mismos que se presentan en la Tabla 19 y que proceden del gasto energético que se realiza.

**Tabla 18: Costo de producto por unidad**

Insumos	Cantidad (kg)	Precio (S/. x kg)	Precio/batch (S/.)
Pasta de cacao	0.74	28.43	21.04
Manteca de cacao	0.30	45.00	13.50
Azúcar blanca	0.56	3.00	1.68
Leche entera en polvo	0.40	17.23	6.89
Total	2.00	93.66	43.11
Datos de barra			
Peso de barra (kg)	0.05	Costo de producto unitario	
Barras/batch (2 kg)	40.0	1.08	

**Tabla 19: Costo energético y total por cada barra**

Datos del refinado	Proceso normal	Proceso óptimo
Potencia Watts (máquina)	200	200
Costo de kw/h (Agustino)	0.530	0.530
Tiempo de proceso (horas)	20 h	11 h
Turnos de trabajo por día	1	2
Costo total (S/.)	2.12	0.58
Cantidad de barras/batch	40	80
Costo energético/barra (S/)	0.053	0.007
Costo total por barra (S/)	1.133	1.087
*incluye costo de producto (1.08)		

La Tabla 18 muestra el cálculo del costo energético de la suma de ambas operaciones unitarias (molienda y refinado), tanto el cotidiano (normal) que realizaba la empresa y el óptimo; la diferencia radica en el tiempo, que para el óptimo es menor, con lo que se tiene un ahorro de energía para una mayor productividad de chocolate.

$$\text{Reducción de energía eléctrica} = \frac{0.053 - 0.007}{0.053} = 0.8679 = 87\%$$

## V. CONCLUSIONES

1. El cacao de Piura tostado sin cáscara tuvo 4.51 por ciento de humedad, 49.71 por ciento de grasa cruda, 3.48 por ciento de cenizas, 14.49 por ciento de proteína cruda, 5.49 por ciento de fibra cruda y 32.35 por ciento de carbohidratos totales.
2. Aplicando el método de Taguchi se determinó que los niveles ensayados de temperatura, posición de raspado y tiempo de operación unitaria, no tuvieron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la reducción del tamaño de partícula, por lo que no se realizó la etapa posterior de optimización aplicando superficie de respuesta.
3. Considerando el resultado obtenido por el método Taguchi, se puede lograr un ahorro de energía y de tiempo de operación unitaria en la molienda al aplicar los valores menores de los rangos ensayados de temperatura y tiempo ( $T^{\circ}1 = 40^{\circ}\text{C}$ ,  $T^{\circ}2 = 37^{\circ}\text{C}$ ,  $T^{\circ}3 = 37^{\circ}\text{C}$ ,  $TP1 = 10$  minutos,  $TP2 = 40$  minutos y  $TP3 = 10$  minutos) y los valores altos de posición de raspado ( $P1=3.5$ ,  $P2=4.5$ ,  $P3=5.0$ ).
4. Considerando el resultado obtenido por el método Taguchi, se puede lograr un ahorro de energía y de tiempo de procesamiento en el refinado al aplicar los valores menores de los rangos ensayados de temperatura y tiempo ( $T^{\circ}4 = 45^{\circ}\text{C}$ ,  $T^{\circ}5 = 43^{\circ}\text{C}$ ,  $TP4 = 4$  horas y  $TP5 = 6$  horas) y los valores altos ensayados de posición de raspado ( $P4=5.0$ ,  $P5=4.5$ ).
5. Con los resultados obtenidos se puede concluir que se puede lograr una reducción del 87 por ciento en energía eléctrica y de nueve horas por batch en la producción de chocolate al aplicar los valores menores de los rangos ensayados de temperatura y tiempo.

6. El chocolate elaborado con los valores óptimos tuvo 2.92 por ciento de humedad, 40.91 por ciento de grasa cruda, 2.50 por ciento de cenizas, 10.34 por ciento de proteína cruda, 5.34 por ciento de fibra cruda y 46.22 por ciento de carbohidratos totales.
7. El tamaño de partícula final con los valores óptimos de las operaciones unitarias de molienda y refinado fue de 21.16  $\mu\text{m}$ .
8. Se obtuvo para 36 y 24 tratamientos ensayados de molienda y refinado un tamaño de partícula final promedio de 26.4 y 24.0  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Validar los resultados de la investigación con equipos de mayor precisión como también la distribución de tamaño de partícula.
- Contrastar el resultado obtenido para el chocolate con leche con uno que sustituya el componente lácteo por manteca de cacao para estudiar su efecto en la reducción del tamaño de partícula.
- Estudiar la operación unitaria del conchado para medir la viscosidad como otro factor importante en la calidad del chocolate.
- Trasladar a otras variedades las posiciones de raspado como presión.
- Las máquinas deben tener mayor precisión de control.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Afoakwa, E.O.; Paterson, A.; Fowler, M.; Vieira, J. (2008). Effects of tempering and fat crystallisation behaviour on microstructure, mechanical properties and appearance in dark chocolate systems. *Journal of Food Engineering*, 89: 128-136. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.04.021
- Afoakwa, E.O. (2007). *Trends in Food Science and Technology*. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd.
- Afoakwa, E.O. (2010). *Chocolate Science and Technology*. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd.
- Alamprese, C.; Datei, L.; Semeraro, Q. (2007). Optimization of processing parameters of a ball mill refiner for chocolate. *Journal of Food Engineering*, 83: 629-636. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.04.014
- Arreaga, A.E. & Martínez, E.R. (2014). *Diseño de un molino para refinar licor de cacao en una empresa procesadora de cacao (Tesis de titulación)*. Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Balcazar, M.E. & Guamba, J.P. (2009). *Diseño de un triturador de cacao (Tesis de titulación)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Bastidas, E.V. (2016). *Análisis proximal, compuestos fenólicos, alacloides, ácidos grasos y actividad antioxidante de dos lotes de Piura Milk, Cacaosuyo*. Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú.

- Beckett, S.T. (2000). *The science of chocolate*. London: Royal Society of Chemistry Paperbacks.
- Beckett, S.T. (2002). *La ciencia del chocolate*. Zaragoza, España: Acribia.
- Bocci, D.I. & Casas, M.R. (2013). *Producción de leche en polvo entera, parcialmente y descremada (Tesis de licenciatura)*. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Brown, M. (2009). *Biscuits and bakery products*. Reino Unido, Woodhead Publishing Limited. p. 152-162.
- Burgos, D.E.; Choy, M.A.; Liberati, C.; Saavedra, Z.E.; Sweitzer, L. (2019). *Protocolo para la preparación de licor de cacao para el análisis sensorial*. Perú: Desarrollo de Cooperativas USAID-Equal Exchange-TCHO.
- Chica, B.A. & Osorio, S.L. (2003). *Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de propileno bioorientado (Tesis de titulación)*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Chichester, C.O.; Mrak, E.M.; Schweigert, B.S. (1986). *Advances in food*. Londres: Academic Press. p. 93, 221-231.
- Codini, M.; Díaz, F.; Ghirardi, M.; Villavicencio, I. (2004). *Obtención y utilización de la manteca de cacao*. *Revista Invenio*, 6: 143-149. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3331434.pdf>
- Colina, M.C.M. (2020). *Reducción de tamaño de partículas de alimentos [diapositivas]*. Recuperado de [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red\\_tam\\_solidos\\_intro.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf)

- Condori, D. (2015). Optimización del manejo poscosecha del cacao proveniente de La Convención (Cusco) para el mejoramiento de su calidad organoléptica y del contenido de fitoquímicos benéficos para la salud (Tesis de maestría). Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima.
- Cubero, E. (1990). Indicadores químicos de la calidad del grano seco de cacao y su aplicación (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José.
- Diamond Custom Machines. (2020). Chocolate refiner - stone melanger for chocolate and nut butter [sitio web]. Recuperado de <https://www.melangers.com/collections/table-top-refiners>
- Díaz, S.L. & Pinoargote, M.H. (2012). Análisis de las características organolépticas del chocolate a partir de cacao CCN51 tratado enzimáticamente y tostado a diferentes temperaturas (Tesis de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Dostert, N.; Roque, J.; Cano, A.; La Torre, M.; Weigend, M. (2012). Hoja botánica: cacao (*Theobroma cacao* L.). Lima, Perú: Cooperación Alemana al Desarrollo - GIZ.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2008). Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fernández, C. (2013). Superficie respuesta metodos y diseño [diapositivas]. Recuperadas de [http://www.fcb.unl.edu.ar/laboratorios/ladaq/curso\\_TopQuim\\_2013/Bibliografia%20RSM/superficie%20de%20respuesta%201.pdf](http://www.fcb.unl.edu.ar/laboratorios/ladaq/curso_TopQuim_2013/Bibliografia%20RSM/superficie%20de%20respuesta%201.pdf)
- García, L.F. (2014). Cultivares de cacao del Peru. Lima: R&F Publicaciones y Servicios.
- Gutiérrez, H. (2008). Análisis y diseño de experimentos. México: Mc Graw Hill.



- Guzmán, R.; Pérez, E.; Álvarez, C. (marzo, 2020). Caracterización fisicoquímica y nutricional de almendras del cacao (*Theobroma cacao* L.) frescas y fermentadas provenientes de la región de Rio Chico, estado Miranda-Venezuela. Trabajo presentado en la Séxta Jornada Científica de Biotecnología Molecular y Biomedicina, México.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI]. (22 de mayo de 2014). NTP 208.013: Cacao y chocolate. Chocolate compuesto y relleno. Requisitos. (3° ed.). Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.
- Kavanaugh, C.F. (2002). Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos. *Conciencia Tecnológica*, 19. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94401906.pdf>
- Krysiak, W. (2006). Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans. *Journal of Food Engineering*, 77(3): 449-453. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.07.013
- López, A., & Zamora, M. (2017). *Industria azucarera* (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica Nacional, San Rafael, Argentina.
- Ramli, N.; Hassan, O.; Said, M.; Samsudin, W.; Idris, N.A. (2006). Influence of roasting conditions on volatile flavor of roasted Malaysian cocoa beans. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30: 280-298. doi: 10.1111/j.1745-4549.2006.00065.x
- Ortegas-Rivas, E. (2005). *Handling and processing of food powders and particulars*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis.
- Plua, J.C. (2008). *Diseño de una línea procesadora de cacao artesanal* (Tesis de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

- Quinga, F.J. (2014). Reingeniería e implementación de circuitos de control y fuerza usando un PLC S7-300 de un molino refinador de licor de cacao en la empresa Nestlé Ecuador S.A. de la ciudad de Guayaquil, Riobamba, Ecuador (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Regalado, L. & Sánchez, S. (2015). Impacto de los parámetros de control de las características reológicas en la etapa de conchado en la fabricación de masa chocolate leche (Tesis de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Ureña, M.O.; Luyo, J.D.; Chire, G.C. (2020). Nuevo método de control para el proceso industrial de fabricación. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 7(2): 1.8. doi: 10.23850/24220582.3070
- Waganoff, N.P. (1956). Trituración, molienda y separación de minerales. Buenos Aires: Alsina. Recuperado de <http://catalogosuba.sisbi.uba.ar/vufind/Record/FIUBA-OAI-DC:7294>
- Weston, R. (2016). *Investiga Innova Cacao Chocolate*. Lima: Instituto de Investigaciones de la Universidad San Martín de Porres.
- Yates, P. (2009). *Formulation of chocolate for industrial applications*. Reino Unido, Woodhead Publishing Limited. p. 29-52.
- Ziegler, G.R. (1999). *Industrial chocolate manufacture and use*. En S.T. Beckett (Eds.), *Ciencia del chocolate* (3° ed.). Oxford, Reino Unido: Blackwell Science.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL MOLINO - REFINADOR DE CACAO Y CHOCOLATE

#### REFINADOR DE CHOCOLATE



#### Características del Refinador de chocolate

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad: hasta 10 libras</li><li>• Diámetro del tambor: 241 mm (9.5 ")</li><li>• Altura del tambor: 6.25 "(159 mm)</li><li>• Diámetro de la piedra del rodillo: 4.125 "(105 mm)</li><li>• Ancho de la piedra de rodillo: 1.75 "(45 mm)</li><li>• Peso: 29.7 libras (13.5 kg)</li><li>• Voltaje: disponible en 110 V, 60 Hz y 230 V, 50 Hz</li><li>• Potencia: 200 Watts</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Solo piedras de granito totalmente naturales y de alta calidad.</li><li>• Refina el tamaño de las partículas a menos de 20 micras.</li><li>• Nuevo sistema de transmisión de tracción positiva: diseño sin deslizamiento.</li><li>• Diseño sofisticado y elegante</li><li>• El motor está diseñado y probado para funcionar de forma continua durante hasta 72 horas.</li><li>• Cojinetes robustos y totalmente sellados: no se atascan ni se atascan</li><li>• Interruptor de corte de seguridad para evitar el sobrecalentamiento.</li><li>• Fácil de transportar gracias a su tamaño y peso manejables.</li></ul> |
|---|--|

## ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE GRANO DE CACAO APROCAP



# FICHA TÉCNICA

## GRANOS DE CACAO FINOS DE AROMA T'INKIY



Nos ubicamos en la región Piura donde cultivamos con pasión el cacao para que tú disfrutes el aroma y el sabor de nuestros granos, que están cuidadosamente beneficiados.



### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- *Theobroma cacao*.
- Fermentado en cajones de madera y propiamente secado.
- 80 a 85 granos / 100 g.
- Origen Piura – Perú.
- Granos orgánicos no certificado

### VARIETADES

- Gran Blanco y variedades nativas.

### FERMENTACION

- Porcentaje de fermentación 85%.
- Granos violetas 10%

### SECADO

- Secado en artesas
- Humedad de 6.5% a 7%

### PRUEBAS DE LABORATORIO

- Cadmio: 0.84 mg/kg (ppm)
- Coliformes: <3 ufc/g
- Salmonella: Negativo
- Mohos y levaduras: < 10 ufc/g



Celular: 959311362

### CONTACTO:

correo: [lrodriguez@tinkiychocolate.com](mailto:lrodriguez@tinkiychocolate.com)

## ANEXO 3: FICHA TÉCNICA DEL AZÚCAR BLANCA (CARTAVIO)



### FICHA TECNICA

#### AZUCAR BLANCA CARTAVIO



Azúcar blanca elaborado con 100% jugo de caña de azúcar de los campos norteños del Perú. Azúcar blanca embolsada Cartavio, calidad garantizada libre de contaminación y con el peso comprobado.

Presentación:

Bolsa de 5 kg, 2 kg, 1 kg, 500 g y 250 g.

<b>INGREDIENTES PRINCIPALES</b>	Caña	
<b>INGREDIENTES SECUNDARIOS</b>	No aplica	
<b>CARACTERISTICAS FISICAS DE LA MATERIA PRIMA Y/O INSUMO</b>	<b>Apariencia</b>	Granulada
	<b>Color</b>	Blanco
	<b>Olor</b>	Incolora
	<b>Sabor</b>	Dulce
	<b>Ph</b>	No
	<b>Textura</b>	Dura granulada
<b>ESTADO DE LA MATERIA PRIMA Y/O INSUMO</b>	<b>Líquido</b>	
	<b>Sólido</b>	Granulada
	<b>Gaseoso</b>	
<b>EMPAQUES Y PRESENTACIONES</b>	Bolsa de polietileno	
<b>CANTIDAD</b>	Bolsa de 5 kg, 2 kg, 1 kg, 500 g y 250 g.	
<b>INSTRUCCIONES EN LA ETIQUETA</b>	Consérvase en un lugar fresco y seco	
<b>NUMERO DE REGISTRO SANITARIO (SI APLICA)</b>	No aplica	
<b>VIDA UTIL ESPERADA</b>	12	Meses
	<b>Ambiente</b>	25-30°C
<b>TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>Refrigeración</b>	
	<b>Congelación</b>	
<b>NORMATIVIDAD QUE RIGE LA MATERIA PRIMA Y/O INSUMO</b>	NTC 611	
<b>CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO</b>	Conservar en un lugar fresco y evitar la humedad	



• Calle Ricardo Angulo Ramirez 873, Urbanización Corpac, San Isidro, Lima -Perú  
Central 711-2300 - Fax 711-2310

• Av. Los Forestales Mz. F - Lt. 6 - Villa el Salvador Almacenes C2, C4, C6.

## ANEXO 4: FICHA TÉCNICA DE LECHE EN POLVO (INCO – BELGO MILK MH)



### PRODUCT SPECIFICATION

**13130713**  
**FULL CREAM MILK POWDER MEDIUM HEAT 26% FAT / 4% MOISTURE**

#### Supplier information:

##### Head office:

Belgomilk cvba  
 Fabrikstraat 141 • Haven 1140 • B-9120 Kallo  
 Tel. +32 (0)3 730 18 00 • Fax +32 (0)3 730 19 00  
 VAT BE 0870.017.447 • RPR Dendermonde

##### Production unit Kallo:

Belgomilk cvba  
 Fabrikstraat 141 • Haven 1140 • B-9120 Kallo  
 Tel. +32 (0)3 730 18 00 • Fax +32 (0)3 730 19 00

##### Production unit Langemark:

Belgomilk cvba  
 Melkerijstraat 10 • B-8920 Langemark  
 Tel. +32 (0)57 49 02 00 • Fax +32 (0)57 49 02 99

#### Contact:

	function	contact	tel	fax	note
<b>General</b>	Commercial director B2B	Francis Relaes	+32 (0)3 730 18 00	+32 (0)3 730 19 05	
<b>Kallo</b>	Plant manager	Gert Vanhooydonck	+32 (0)3 730 18 00	+32 (0)3 730 19 00	24/7
<b>Kallo</b>	QC-manager	Geertrui De Mangelaere	+32 (0)3 730 18 00	+32 (0)3 730 19 00	
<b>Langemark</b>	Plant manager	Geert De Duytschaever	+32 (0)57 49 02 00	+32 (0)57 49 02 99	24/7
<b>Langemark</b>	QC-manager	Peter Heyneman	+32 (0)57 49 02 00	+32 (0)57 49 02 99	

13130713	16-09-13	Commercial director B2B	Plant Manager Kallo	QC Manager Kallo	Plant Manager Langemark	QC Manager Langemark	1/4
	Version 02 Replaces version: 01						

member of:

**Full cream milk powder is the product of spray drying standardized and pasteurized cow's milk**

#### References:

Article identification: 13130713  
 G/N code: 0402 21

#### Physical specifications:

Appearance: Homogenous powder, free from lumps and particles >7mm  
 Colour: White to cream coloured  
 Taste & flavour: Neutral, slightly sweet, typical milky and clean

Chemical specifications:

Moisture:	max. 4%	ISO 5537
Milk fat:	min. 26%	IDF 9C:1987
Proteins:	min. 24%	ISO 8968
Minerals:	max. 6%	Derived of ISO 5545
Lactose:	min. 34 %	By difference
Solubility index:	max. 1 ml	ADPI
Titratable acidity:	max. 0.15%	ADPI
Scorched particles:	disc A	ADPI

Microbiological specifications:

Total plate count	max. 10,000 cfu/g		ISO 4833
Salmonella	absent /25g	n=5	AFNOR BRD-07/6-07/04
Enterobacteriaceae	max. 10 /g	n=5	ISO 21528/2
Staphylococcus aureus	m=10/g M=100/g c=2	n=5	ISO 6888

Contaminants:

The milk powder is conform Commission Regulation (EC) 1881/2006 and its amendments, setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.

Pharmacologically active substances (MRL) are conform Commission Regulation 37/2010 and its amendments.

Every delivery of the raw material milk is analysed for antibiotics.

Pesticides are conform Commission Regulation 396/2005 and its amendments.

Radioactive contamination is conform Commission Regulation 3954/87 and its amendments.

Storage:

The product should be stored in a cool and dry place (preferable 20°C / 60-80% relative humidity) and not be exposed to direct sunlight. Strong odours and direct contact with walls and floors should be avoided. The packaging should be undamaged. The packaging should be closed properly after use.

Shelf life (unopened packaging):

12 months: 25 kg bags, "packaged in a protective atmosphere"

24 months: retail packaging, "packaged in a protective atmosphere"

Nutritional composition/100g:

Energy	499	kcal
	2084	kJ
Fat	26,5	g
of which saturates	17,6	g
Carbohydrate	40	g
of which sugars	40	g
Protein	25	g
Salt	0,93	g

Consumer information:

Target group:

This product is fit for human consumption. Normal use does not include any risk for young, elderly, pregnant and immuno-suppressed people. Only persons who suffer from cow's milk protein allergy or lactose intolerance should not consume this product. This product is not suitable for infants (<12 months).

GMO-statement:

We declare that our products in accordance with regulations 1829/2003/EU and 1830/2003/EU do not need GMO-labeling.

EU-regulations:

We declare that our products are in accordance with current EU-regulations.

Allergens:

This product contains bellow mentioned sources of food allergy / intolerances:

Sources of food allergy:	Contains allergen:	If Yes Form
	Yes / No	
Cereals containing gluten (i.e. wheat, rye, barley, oats, spelt, kamut, or their hybridised strains) and products thereof	No	
Crustaceans and products thereof	No	



<b>Sources of food allergy:</b>	<b>Contains allergen: Yes / No</b>	<b>If Yes Form</b>
Cereals containing gluten (i.e. wheat, rye, barley, oats, spelt, kamut, or their hybridised strains) and products thereof	No	
Crustaceans and products thereof	No	
Peanuts and products thereof	No	
Soybeans and products thereof	No	
Milk and products thereof (including lactose)	Yes	Full cream milk powder is made of standardized milk.
Nuts i.e. Almond, Hazelnut, Walnut, Cashew, Pecan nut, Brazil nut, Pistachio nut, Macadamia nut and Queensland nut and products thereof	No	
Celery and products thereof	No	
Mustard and products thereof	No	
Sesame seeds and products thereof	No	
Sulphur dioxide and sulphite at concentrations of more than 10 mg/kg or 10 mg/litre expressed as SO <sub>2</sub>	No	
Lupine	No	
Molluscs	No	

Cross contaminations risks are part of the HACCP plans and therefore carefully followed. Preventative measures are taken in order to prevent allergen cross contamination through production process such as strict cleaning procedures, respect of good manufacturing practices, staff training, supplier's allergen questionnaire, ...

*Kosher certificate:*  
Available on request

*Halal certificate:*  
Available on request

*Legal notice:*

The information given in this publication is based on our current knowledge and experience, and may be used at your discretion and risk. It does not relieve you from carrying out your own precautions and tests. We do not assume any liability in connection with our product or its use. You must comply with all applicable laws and regulations and observe all third party rights.

Users are requested to check that they are in possession of the latest version of the present document and Belgomilk is at their disposal to supply any additional information.



## ANEXO 5: FICHA TÉCNICA DE LA MANTECA DE CACAO (MACHUPICCHU FOODS)

### CERTIFICADO DE ANALISIS PRODUCTO TERMINADO N° 633 / 16AC-OR

PRODUCTO : MANTECA DE CACAO DEODORIZADA ORGANICA  
CU : 804240  
LOTE : 06061611  
CERTIFICACIÓN / NORMA : EU / NOP  
KOSHER PARVE  
CANTIDAD : 06 Cajas x 25 kg. c/u  
FECHA DE PRODUCCION : 06/06/16  
FECHA DE EXPIRACION : 06/06/17  
FECHA DE EMISION : 26/07/16  
REFERENCIA : 1000002113 (VLOR-160712-01)

### RESULTADOS DE ANALISIS

% Acidez : 1,10  
Punto de Fusión : 32,20 °C  
% Humedad : 0,29

### ANALISIS MICROBIOLÓGICO

Recuento Total Aerobio M.V : 10 ufc/g  
Enterobacterias : Ausencia/g  
Coliformes totales : < 10 ufc/g  
Mohos : < 10 ufc/g  
Levaduras : < 10 ufc/g

### EVALUACION SENSORIAL

Sabor y Aroma : Muy ligero aroma a cacao  
Olor : Característico  
Aspecto y Color : Masa sólida de color amarillo claro  
Textura : Suave al paladar

RESOLUCIÓN : **Aprobado**

Machu Picchu Foods SAC

Blgo. Betsy Mendieta Dancourt  
Departamento de Aseguramiento de Calidad

## ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DEL TOSTADOR DE CACAO

### DATOS TÉCNICOS

Modelo: TH - 42N01  
Tensión: 220 - 240 V ~ 50/60 Hz  
Potencia: 2000 W  
Capacidad: 42 Lts

Para evitar una sobrecarga en el circuito eléctrico, no use el aparato en el mismo circuito eléctrico que otro aparato de alto consumo.



### COMPONENTES DEL APARATO

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Reloj cuenta minutos (ON / OFF)  | 9. Mango para bandeja                |
| 2. Control de funciones             | 10. 1 Rejilla para asar              |
| 3. Luz indicadora de funcionamiento | 11. Mango para fierro asador         |
| 4. Control de temperatura           | 12. Pinzas del fierro asador         |
| 5. Cuerpo                           | 13. Fierro asador                    |
| 6. Mango de puerta del horno        | 14. Tornillos para pinzas            |
| 7. Puerta de vidrio                 | 15. Control de resistencias de calor |
| 8. 1 Bandeja para Hornear           |                                      |

## ANEXO 7: FICHA TÉCNICA DEL DESCASCARILLADOR DE CACAO



### DESCASCARILLADORA DE CACAO

#### “WINDCRAKER”

Nuestra descascarilladora de cacao realiza el quebrado del cacao y la separación de cascarilla en forma rápida y eficiente. Los granos tostados se depositan en la tolva y se deslizan a la cámara de triturado donde son quebrados y la cascarilla desprendida. El quebrador en la cámara de triturado es regulable por el operario para controlar el tamaño de los nibs obtenidos. La cascarilla luego es separada por acción del aire cuyo caudal es totalmente regulable por el operario. Los nibs totalmente libres de cascarilla son expulsados por la primera salida, la cascarilla y los nibs con alguna cascarilla adherida son expulsados por la segunda salida y el polvo se deposita en el ciclón colector, que además posee un extractor de aire con un filtro de manga para el retorno de aire limpio al ambiente. La máquina está construida completamente de acero inoxidable 304.



ESPECIFICACIONES		
MODELO	WINDCRAKER 50	WINDCRAKER 200
CAPACIDAD	50-100 Kg/h	100-200 Kg/h
TASA DE DESCASCARILLADO	Primera Pasada 93%, Segunda Pasada 98.5%	
TASA DE TRITURACIÓN	<10%	
POTENCIA	3 kW	5.25 kW
PESO	125 Kg	175 Kg
DIMENSIONES (MM)	1570x670x1530	1800x1000x1670

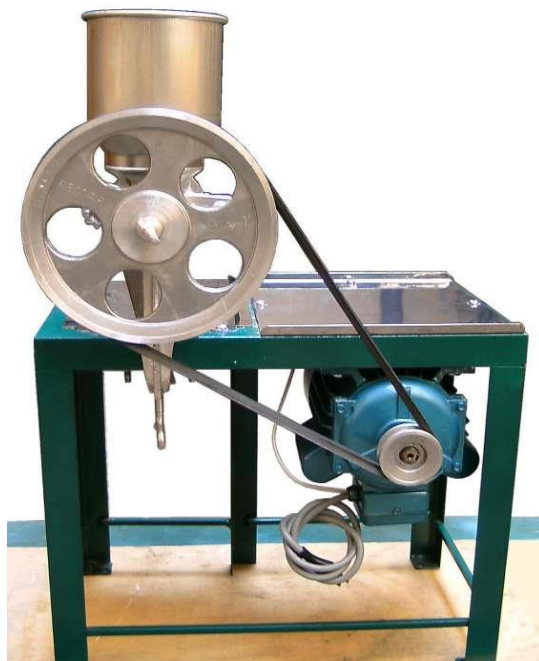
\*Las especificaciones pueden variar.

### EL PROCESO DE DESCASCARILLADO



Activar Windows

## ANEXO 8: FICHA TÉCNICA DEL PRE MOLINO DE CACAO



MOLINO CORONA CON MOTOR	
Marca	Corona original
Tipo	Semiindustrial
Fabricación	Acero inoxidable
Polea	Aluminio
Velocidad de molido	185 rpm
Color	Verde
Motor	0.5 hp eléctrico
Energía	220 voltios
Potencia	0.4 kW
Productividad de moler	30 kg/h
Frecuencia	60 Hz
Peso	20.30 kg

## ANEXO 9: FICHA TÉCNICA DEL TERMÓMETRO LÁSER

### Termómetro láser



### Especificación técnica

- Rango de temperatura:  $-50\text{ °C} \sim 380\text{ °C}$  ( $-58\text{ °F} \sim 1112\text{ °F}$ )
- Precisión:  $\pm 01\text{ °C}$
- Resolución:  $0,1\text{ °C} / \text{°F}$
- Velocidad puntual de distancia: 12: 1
- Potencia: batería AAA x 2 de 3 V (no incluida)
- Material: plástico ABS
- Interruptor: Celsius / Fahrenheit
- Respuesta espectral: 8-14  $\mu\text{m}$  y 500 UXO
- Función de retención de datos: sí
- Peso: 110 g

## ANEXO 10: FICHA TÉCNICA DEL MICRÓMETRO DE CHOCOLATE

### Micrómetros de exteriores



- Pantalla LCD con selección mm. o pulgadas
- Resolución: 0.001 mm (métrico);
- Ajuste de cero
- Medición relativa / absoluta
- Retención de lectura ( Hold )
- Encendido / apagado automático
- Ajuste de medición
- Criterios: DIN863/1, DIN40050/IEC529

Modelo	RANGO	EXACTITUD	MATERIAL	TEMP. DE OPERACIÓN	TIPO	ALIMENTACIÓN
132-01-830	0,00 ~ 25,000 mm 0 ~ 1"	± 0,003 mm / 0,001"	Acero Inoxidable	5 + 40 °C	Digital	1 pila 1R44 1,5V
102-01-000	0,00 ~ 25,00 mm	± 0,004 mm		NO	Análogo	No necesita

### Pie de rey - Verniers

- Pantalla LCD, selección mm. o pulgadas mediante botón,
- Función ajuste de cero.
- Humedad: < 80%RH
- Encendido / apagado con botón



Modelo	RANGO	EXACTITUD	MATERIAL	TEMP. DE OPERACIÓN	TIPO	ALIMENTACIÓN
401-13-212	0,00 ~ 150,00 mm 0,000 ~ 6,000"	± 0,03 mm / 0,001"	Acero Inoxidable	5 + 40 °C	DIGITAL	1 pila 1R44 1,5V
401-14-212	0,00 ~ 200,00 mm 0,000 ~ 8,000"					
401-15-212	0,00 ~ 300,00 mm 0,000 ~ 12,000"					

Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Wind

Tecnomab Soluciones Generales SAC  
[www.valiometro.pe](http://www.valiometro.pe)

ventas@valiometro.pe  
RPM #951551909  
RPC 982510780  
Fijo: 7913499

**Medidores  
DIMENSIONALES**



## **ANEXO 113: MEDICIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA**



## **ANEXO 12: MEZCLA DE INSUMOS EN EL REFINADO DE CHOCOLATE (PASTA DE CACAO, MANTECA DE CACAO, AZÚCAR Y LECHE EN POLVO)**



**ANEXO 13: ARREGLO ORTOGONAL L12 RANDOMIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS DE MOLIENDA**

<u>L12</u>	Replica	F (1)	F (2)	F (3)	F (4)	F (5)	F (6)	F (7)	F (8)	F (9)	F (10)	F (11)
34	3	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
27	3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
6	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
29	3	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
12	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
18	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
35	3	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
9	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
13	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	3	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
24	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
20	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
28	3	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
32	3	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
14	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
21	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
11	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
36	3	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
5	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
19	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
15	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
23	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
4	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
30	3	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
25	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
16	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
33	3	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
22	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
26	3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2



**ANEXO 14: ARREGLO ORTOGONAL L8 RANDOMIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS DE REFINADO**

<b><u>L8</u></b>	Replica	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
14	2	1	2	2	1	1	2	2
3	1	2	1	2	2	1	2	1
4	1	2	1	2	1	2	1	2
21	3	1	2	2	2	2	1	1
9	2	2	2	1	2	1	1	2
24	3	1	1	1	1	1	1	1
15	2	1	1	1	2	2	2	2
7	1	1	1	1	2	2	2	2
2	1	2	2	1	1	2	2	1
23	3	1	1	1	2	2	2	2
16	2	1	1	1	1	1	1	1
20	3	2	1	2	1	2	1	2
5	1	1	2	2	2	2	1	1
6	1	1	2	2	1	1	2	2
13	2	1	2	2	2	2	1	1
11	2	2	1	2	2	1	2	1
17	3	2	2	1	2	1	1	2
8	1	1	1	1	1	1	1	1
10	2	2	2	1	1	2	2	1
1	1	2	2	1	2	1	1	2
19	3	2	1	2	2	1	2	1
18	3	2	2	1	1	2	2	1
12	2	2	1	2	1	2	1	2
22	3	1	2	2	1	1	2	2

**ANEXO 15: ARREGLO ORTOGONAL L12 SIN RANDOMIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS DE MOLIENDA**

<b><u>L12</u></b>	Réplica	F (1)	F (2)	F (3)	F (4)	F (5)	F (6)	F (7)	F (8)	F (9)	F (10)	F (11)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2

«continuación»

11	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
13	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
15	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
16	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
17	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
18	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
19	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
20	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
21	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
22	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
23	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
24	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
25	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
27	3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
28	3	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
29	3	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
30	3	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
31	3	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
32	3	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
33	3	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
34	3	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
35	3	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
36	3	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

**ANEXO 16: ARREGLO ORTOGONAL L8 SIN RANDOMIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS DE REFINADO**

<b>L8</b>	<b>Réplica</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>
1	1	2	2	1	2	1	1	2
2	1	2	2	1	1	2	2	1
3	1	2	1	2	2	1	2	1
4	1	2	1	2	1	2	1	2
5	1	1	2	2	2	2	1	1
6	1	1	2	2	1	1	2	2
7	1	1	1	1	2	2	2	2
8	1	1	1	1	1	1	1	1
9	2	2	2	1	2	1	1	2
10	2	2	2	1	1	2	2	1
11	2	2	1	2	2	1	2	1
12	2	2	1	2	1	2	1	2
13	2	1	2	2	2	2	1	1
14	2	1	2	2	1	1	2	2
15	2	1	1	1	2	2	2	2
16	2	1	1	1	1	1	1	1

«continuación»

17	3	2	2	1	2	1	1	2
18	3	2	2	1	1	2	2	1
19	3	2	1	2	2	1	2	1
20	3	2	1	2	1	2	1	2
21	3	1	2	2	2	2	1	1
22	3	1	2	2	1	1	2	2
23	3	1	1	1	2	2	2	2
24	3	1	1	1	1	1	1	1

## ANEXO 17: VALORES DEL ANÁLISIS PROXIMAL DEL CACAO PIURANO DESPUÉS DEL TOSTADO

### Valores de humedad

Muestra	código	%H(bh)	promedio	Desviación
Cacao Piura	63	4.60	4.51	0.09
	59	4.52		
	38	4.41		

### Valores de ceniza

Muestra	código	%ceniza (bh)	promedio (bh)	%ceniza (bs)	promedio (bs)	Desviación
Cacao Piura	42	3.32	3.32	3.48	3.48	0.00
	19	3.32		3.48		

### Valores de grasa cruda

Código	n° balón	%grasa (bs)	Promedio Bs	%grasa (bh)	Promedio Bh	Desviación
Cacao Piura	19	49.86	49.71	47.61	47.47	0.15
	20	49.73		47.49		
	5	49.55		47.31		

### Valores de proteína cruda

Muestra	N° Balón	PROTEINA Bh	PROMEDIO	desviación	CV
Cacao Piura	31	14.03	13.81	0.20	1.45
	35	13.64			
	38	13.76			

Muestra	N° Balón	PROTEINA Bs	PROMEDIO	desviación	CV
Cacao Piura	31	14.69	14.49	0.21	1.45
	35	14.28			
	38	14.41			

**Valores de fibra cruda**

Muestra	código	%F (bs)	promedio	desviación	%CV	%F (bh)	promedio	desviación
Cacao Piura	25	5.56	5.49	0.36	6.62	5.31	5.25	0.35
	13	5.10				4.87		
	43	5.82				5.56		

**ANEXO 18: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MOLIENDA**

**Efectos estimados para Tamaño de partícula (u) (media)**

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	0.883333	0.0101986	
A: T1	0.0188889	0.0203973	1.0
B: T2	0.0211111	0.0203973	1.0
C: T3	0.0233333	0.0203973	1.0
D: P1	0.0288889	0.0203973	1.0
E: P2	0.0211111	0.0203973	1.0
F: P3	0.00888889	0.0203973	1.0
G: TP1	0.0233333	0.0203973	1.0
H: TP2	-0.00555556	0.0203973	1.0
I: TP3	0.0111111	0.0203973	1.0

Errores estándar basados en el error total con 2 g.l.

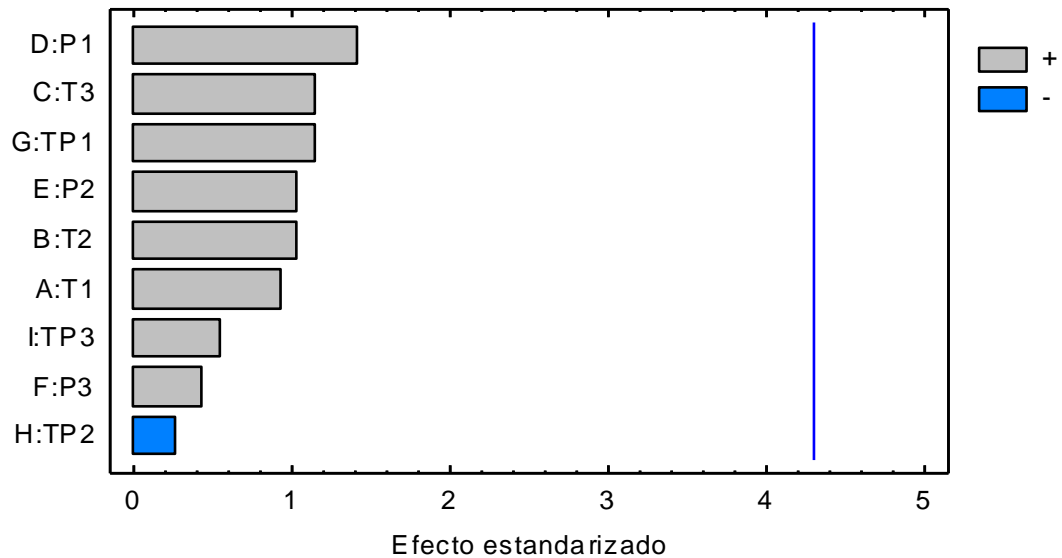
**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis,

y pulsando el botón de Excluir.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Tamaño de partícula (media)



### ANEXO 19: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA TAMAÑO DE PARTÍCULA (MEDIA)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:T1	0.00107037	1	0.00107037	0.86	0.4522
B:T2	0.00133704	1	0.00133704	1.07	0.4094
C:T3	0.00163333	1	0.00163333	1.31	0.3711
D:P1	0.0025037	1	0.0025037	2.01	0.2924
E:P2	0.00133704	1	0.00133704	1.07	0.4094
F:P3	0.000237037	1	0.000237037	0.19	0.7055
G:TP1	0.00163333	1	0.00163333	1.31	0.3711
H:TP2	0.0000925926	1	0.0000925926	0.07	0.8109
I:TP3	0.00037037	1	0.00037037	0.30	0.6406
Error total	0.0024963	2	0.00124815		
Total (corr.)	0.0127111	11			

R-cuadrada = 80.3613 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0.0 por ciento

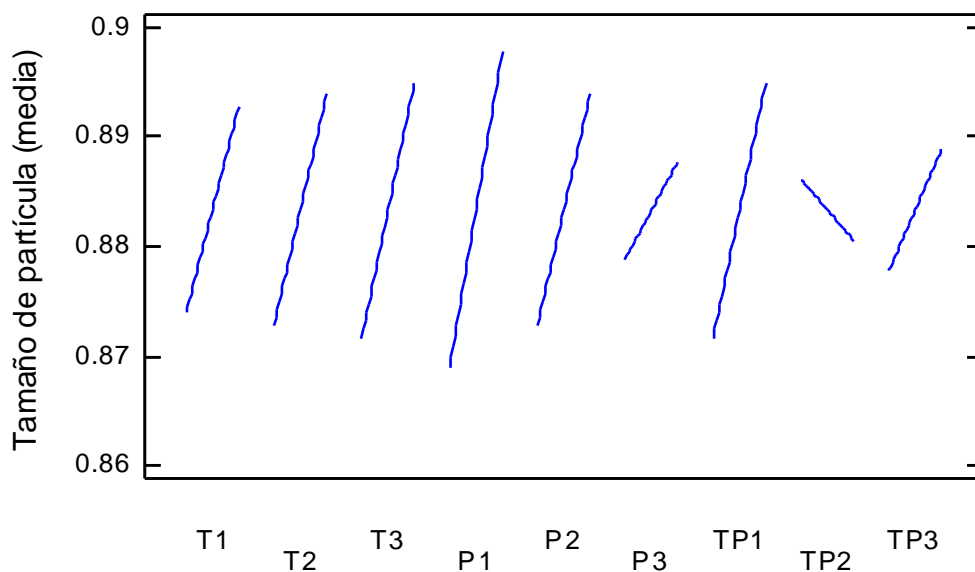
Error estándar del est. = 0.0353291  
Error absoluto medio = 0.0138889  
Estadístico Durbin-Watson = 1.85114 (P=0.1178)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.00890208

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Tamaño de partícula en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 80.3613% de la variabilidad en Tamaño de partícula. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 0.0%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.0353291. El error medio absoluto (MAE) de 0.0138889 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Gráfica de Efectos Principales para Tamaño de partícula (media)



## ANEXO 20: RESPUESTA ÓPTIMA

Meta: maximizar Tamaño de partícula (media)

Valor óptimo = 0.957615

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
T1 (°C)	40.0	45.0	44.9919
T2 (°C)	37.0	42.0	41.7917
T3 (°C)	37.0	42.0	42.0
P1	3.0	3.5	3.48972
P2	4.0	4.5	4.49024
P3	4.5	5.0	4.98542
TP1 (min)	10.0	20.0	19.744
TP2 (min)	20.0	30.0	24.046
TP3 (min)	10.0	20.0	18.372

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Tamaño de partícula sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

## ANEXO 21: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL REFINADO

### Efectos estimados para Porcentaje de reducción (%) (media)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	0.805833	0.00166667	
A:T4	0.0	0.00333333	1.0
B:T5	0.0233333	0.00333333	1.0
C:P4	-0.00166667	0.00333333	1.0
D:P5	-0.04	0.00333333	1.0
E:TP4	-0.00833333	0.00333333	1.0
F:TP5	0.00833333	0.00333333	1.0

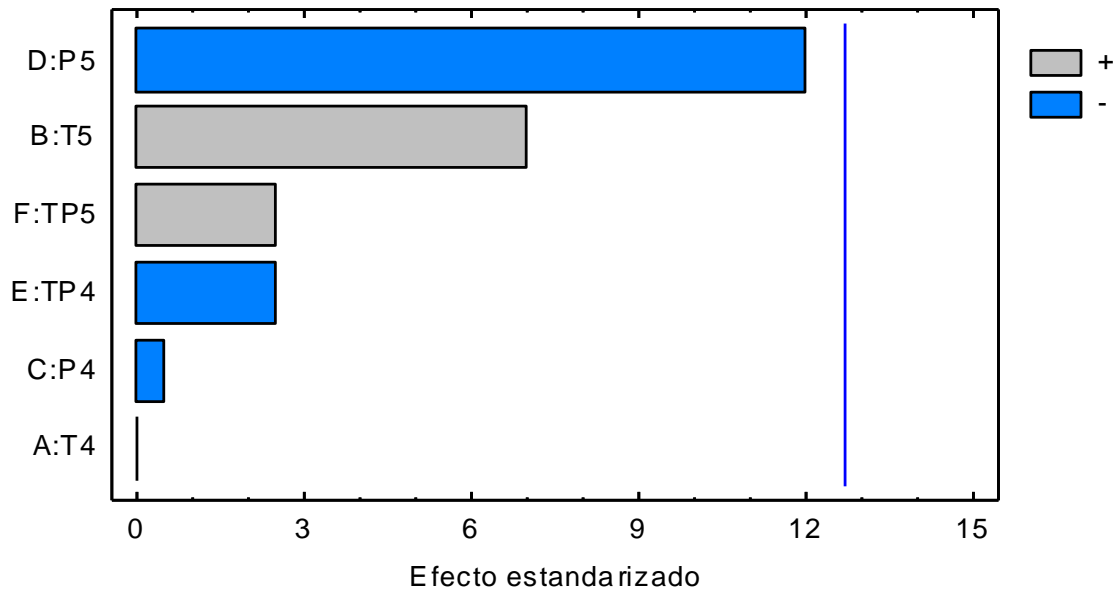
Errores estándar basados en el error total con 1 g.l.

## El StatAdvisor

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Porcentaje de reducción (media)





**ANEXO 22: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PORCENTAJE DE REDUCCIÓN (MEDIA)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:T4	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
B:T5	0.00108889	1	0.00108889	49.00	0.0903
C:P4	0.00000555556	1	0.00000555556	0.25	0.7048
D:P5	0.0032	1	0.0032	144.00	0.0529
E:TP4	0.000138889	1	0.000138889	6.25	0.2422
F:TP5	0.000138889	1	0.000138889	6.25	0.2422
Error total	0.0000222222	1	0.0000222222		
Total (corr.)	0.00459444	7			

R-cuadrada = 99.5163 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.6143 por ciento

Error estándar del est. = 0.00471405

Error absoluto medio = 0.00166667

Estadístico Durbin-Watson = 2.5

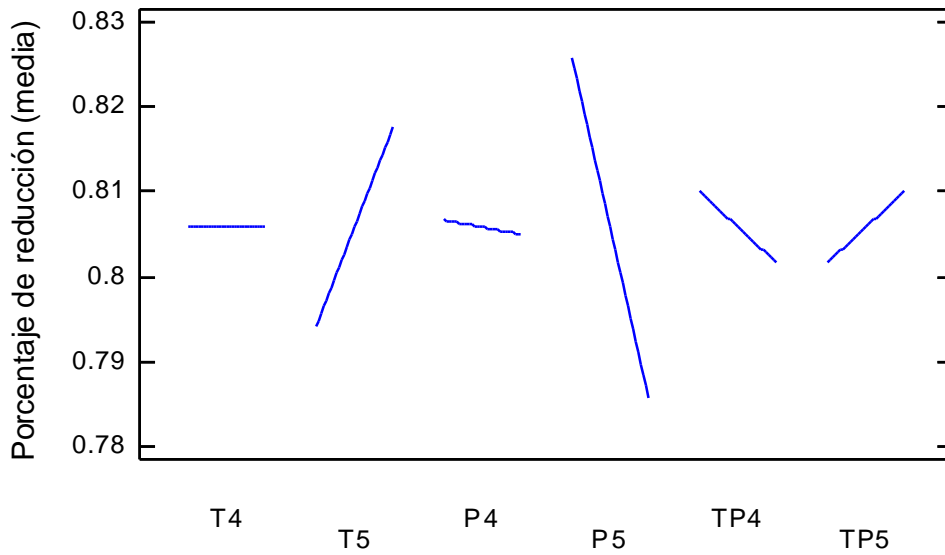
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.375

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Porcentaje de reducción en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99.5163% de la variabilidad en Porcentaje de reducción. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 96.6143%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.00471405. El error medio absoluto (MAE) de 0.00166667 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo.

Gráfica de Efectos Principales para Porcentaje de reducción (media)



### ANEXO 23: RESPUESTA ÓPTIMA

Meta: maximizar Porcentaje de reducción (media)

Valor óptimo = 0.846647

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
T4 (°C)	45.0	50.0	49.1537
T5 (°C)	43.0	47.0	47.0
P4	4.5	5.0	4.5
P5	4.0	4.5	4.00003
TP4 (horas)	4.0	5.0	4.00107
TP5 (horas)	6.0	7.0	6.99896

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Porcentaje de reducción sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

## ANEXO 24: ANÁLISIS PROXIMAL DEL CHOCOLATE AL 50% DE CACAO

### Valor de humedad

Muestra	Código	%H(bh)	promedio	Desviación
Chocolate al 50%	45	2.99	2.92	0.12
	21	2.79		
	36	2.99		

### Valores de ceniza

Muestra	código	%ceniza (bh)	promedio (bh)	%ceniza (bs)	promedio (bs)	Desviación
Chocolate al 50%	53	2.55	2.42	2.63	2.50	0.19
	29	2.29		2.36		

### Valores de grasa cruda

Código	n° balón	%grasa (bs)	Promedio Bs	%grasa (bh)	Promedio Bh	Desviación
Chocolate al 50%	79	41.10	40.91	39.90	39.72	0.15
	46	40.82		39.63		
	29	40.82		39.63		

### Valores de proteína cruda

Muestra	N° Balón	PROTEINA Bh	PROMEDIO	Desviación	CV
Chocolate al 50%	77	10.16	10.07	0.13	1.32
	12	9.91			
	65	10.13			

Muestra	N° Balón	PROTEINA Bs	PROMEDIO	desviación	CV
Chocolate al 50%	77	10.46	10.34	0.14	1.33
	12	10.21			
	65	10.44			

### Valores de fibra cruda

Muestra	Código	%F (bs)	Promedio	Desv.	%CV	%F (bh)	Prom.	Desv.
Chocolate	19	5.71	5.34	0.36	6.73	5.55	5.18	0.35
	37	5.30				5.15		
	94	5.00				4.85		

**ANEXO 25: TABLA DE ANÁLISIS PROXIMAL DE CHOCOLATE PIURA MILK**

<b>Componente</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>
% Grasa cruda	42.2 ± 0.26	39.5 ± 0.20
% Fibra cruda	1.5 ± 0.02	1.5 ± 0.02
% Proteína	9.8 ± 0.19	9.8 ± 0.12
% Cenizas	2.1 ± 0.03	2.3 ± 0.01
% Carbohidratos totales	44.4 ± 0.43	46.9 ± 0.15
% Humedad	3.9 ± 0.03	3.9 ± 0.03

FUENTE: Bastidas (2016)