

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**INFLUENCIA DE LA MOLIENDA EN LAS  
PROPIEDADES REOLOGICAS DEL LICOR  
DE CACAO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
JAVIER RAMOS QUEVEDO**

**TARAPOTO- PERÚ**

**2013**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**INFLUENCIA DE LA MOLIENDA EN LAS  
PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL LICOR DE  
CACAO**

**TESIS**

Para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Presentado por el Bachiller:

**Javier Ramos Quevedo**

**Tarapoto – Perú**

**2013**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



## INFLUENCIA DE LA MOLIENDA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL LICOR DE CACAO TESIS

Para Optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Presentado por el Bachiller:  
**Javier Ramos Quevedo**

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO

Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio  
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Enrique Navarro Ramírez  
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Thony Arce Saavedra  
MIEMBRO

Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco  
ASESORA

TARAPOTO – PERU

2013

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de tesis es el inicio de mí caminar como investigador, pero sin duda el punto final a un duro sendero que he tenido que recorrer para lograr la meta de ser profesional, que sin el apoyo de muchas personas y mi familia no hubiera sido posible.

A mi madre ZOILA MARIA QUEVEDO GARCIA, por haber hecho de mí una persona formada de manera integra y con valores; y con su sencillez, bondad y amor me ha enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad; ni desfallecer en el intento.

A mi hermana MARIA DE LOS ANGELES ALVARADO QUEVEDO por su apoyo, confianza y consejos para conseguir un equilibrio que me permita dar lo máximo de mí.

## **AGRADECIMIENTO**

De manera especial a la Dra. MARI LUZ MEDINA VIVANCO asesora de la presente tesis, que sin su valioso apoyo, paciencia y conocimiento no hubiera sido posible vencer el reto de lo que significa hacer investigación.

A la Ing. CANDY MORALES SANCHEZ co-asesora; que bajo su orientación, apoyo y confianza ha permitido el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN alma mater del saber, a los docentes de la facultad de Ingeniería Agroindustrial que con sus enseñanzas han hecho posible la materialización del sueño de ser profesional.

## INDICE GENERAL

Pág.

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
2.1.	Cacao	3
2.1.1.	Origen	3
2.1.2.	Características botánicas	3
2.1.3.	Localización y producción	4
2.1.4.	Variedades	5
2.1.5.	Usos	7
2.1.6.	Composición química	8
2.2.	Fluido	10
2.2.1.	Fluidos Newtonianos	11
2.2.2.	Fluidos No Newtonianos	13
2.2.2.1.	Fluidos No Newtonianos independientes del tiempo	13
2.2.2.2.	Fluidos No Newtonianos dependientes del tiempo	17
2.3.	Reología en alimentos	18
2.3.1.	Parámetros reológicos	19
2.3.2.	Equipos para medir las propiedades reológicas	21
2.3.3.	Modelos reológicos	22
2.4.	Obtención del licor de cacao	25
2.4.1.	Equipo utilizado para la molienda	26
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1.	Lugar de ejecución del trabajo	27
3.2.	Materiales y equipos	27
3.2.1.	Materia prima	27
3.2.2.	Equipos de laboratorio	27
3.2.3.	Equipos de planta	27
3.2.4.	Materiales de laboratorio	27
3.2.5.	Reactivos	28
3.3.	Metodología	28
3.3.2.	Proceso del licor de cacao	28

3.3.2.1.	Toma de muestras	32
3.3.3.	Análisis fisicoquímicos	33
3.3.4.	Tamaño de partícula	36
3.3.5.	Estudio de las propiedades reológicas	37
3.3.6.	Diseño experimental	37
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>39</b>
4.1.	Características fisicoquímicas del grano	39
4.2.	Características fisicoquímicas del licor de cacao (10 horas de molienda)	41
4.3.	Tamaño de partícula de las variedades de cacao durante la molienda	42
4.4.	Análisis reológico	44
4.4.1.	Reogramas del licor de cacao – variedad criollo	44
4.4.2.	Viscosidad vs. velocidad de corte del licor de cacao – variedad criollo	47
4.4.3.	Reogramas del licor de cacao – variedad CCN-51	50
4.4.4.	Viscosidad vs. velocidad de corte del licor de cacao – variedad CCN-51	54
4.5.	Modelos reológicos aplicados al licor de cacao de la variedad criollo y CCN.51	57
4.5.1.	Ley de Herschel – Bulkley	60
4.5.2.	Ley de Casson	65
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>69</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>71</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>74</b>

## INDICE DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura N° 01</b> – Fluido Newtoniano (esfuerzo de corte vs. velocidad de corte)	12
<b>Figura N° 02</b> – Fluido Newtoniano (viscosidad vs. gradiente de velocidad)	13
<b>Figura N° 03</b> – Fluido Pseudoplástico	15
<b>Figura N° 04</b> – Fluido Dilatante	15
<b>Figura N° 05</b> – Fluido No Newtoniano independientes del tiempo (esfuerzo de corte vs. velocidad de corte)	16
<b>Figura N° 06</b> – Fluido No Newtoniano independientes del tiempo (viscosidad vs. gradiente de velocidad)	16
<b>Figura N° 07</b> – Fluido Thixotrópicos	17
<b>Figura N° 08</b> – Fluidos Reopéticos	18
<b>Figura N° 09</b> – Tipo de viscosidad	20
<b>Figura N° 10</b> – Reometro Brookfield DV – III Ultra	22
<b>Figura N° 11</b> – Clasificadora de granos	29
<b>Figura N° 12</b> – Tostadora	30
<b>Figura N° 13</b> – Enfriadora de granos	30
<b>Figura N° 14</b> – Descascarilladora	31
<b>Figura N° 15</b> – Conchadora	32
<b>Figura N° 16</b> – Micrometro	36
<b>Figura N° 17</b> – Reograma obtenido a 1h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	45
<b>Figura N° 18</b> – Reograma obtenido a 2h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	45
<b>Figura N° 19</b> – Reograma obtenido a 3h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	45
<b>Figura N° 20</b> – Reograma obtenido a 4h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	45
<b>Figura N° 21</b> – Reograma obtenido a 5h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	46
<b>Figura N° 22</b> – Reograma obtenido a 6h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	46

<b>Figura N° 23</b> – Reograma obtenido a 7h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	46
<b>Figura N° 24</b> – Reograma obtenido a 8h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	46
<b>Figura N° 25</b> – Reograma obtenido a 9h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	46
<b>Figura N° 26</b> – Reograma obtenido a 10h. de molienda del licor de cacao – variedad criollo	46
<b>Figura N° 27</b> – Superficie de respuesta del esfuerzo de corte del licor de cacao – variedad criollo	47
<b>Figura N° 28</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 1h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	48
<b>Figura N° 29</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 2h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	48
<b>Figura N° 30</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 3h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	49
<b>Figura N° 31</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 4h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	49
<b>Figura N° 32</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 5h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	49
<b>Figura N° 33</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 6h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	49
<b>Figura N° 34</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 7h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	49
<b>Figura N° 35</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 8h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	49
<b>Figura N° 36</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 9h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	50
<b>Figura N° 37</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 10h.de molienda del licor de cacao – variedad criollo	50
<b>Figura N° 38</b> – Superficie de respuesta de la viscosidad del licor de cacao – variedad criollo	50

<b>Figura N° 39</b> – Reograma obtenido a 1h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	51
<b>Figura N° 40</b> – Reograma obtenido a 2h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	51
<b>Figura N° 41</b> – Reograma obtenido a 3h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	52
<b>Figura N° 42</b> – Reograma obtenido a 4h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	52
<b>Figura N° 43</b> – Reograma obtenido a 5h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	52
<b>Figura N° 44</b> – Reograma obtenido a 6h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	52
<b>Figura N° 45</b> – Reograma obtenido a 7h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	52
<b>Figura N° 46</b> – Reograma obtenido a 8h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	52
<b>Figura N° 47</b> – Reograma obtenido a 9h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	53
<b>Figura N° 48</b> – Reograma obtenido a 10h. de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	53
<b>Figura N° 49</b> – Superficie de respuesta del esfuerzo de corte del licor de cacao – variedad CCN-51	53
<b>Figura N° 50</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 1h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	55
<b>Figura N° 51</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 2h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	55
<b>Figura N° 52</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 3h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	55
<b>Figura N° 53</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 4h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	55
<b>Figura N° 54</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 5h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	55

<b>Figura N° 55</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 6h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	55
<b>Figura N° 56</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 7h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	56
<b>Figura N° 57</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 8h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	56
<b>Figura N° 58</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 9h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	56
<b>Figura N° 59</b> – Viscosidad en funcion de la velocidad de corte a 10h.de molienda del licor de cacao – variedad CCN-51	56
<b>Figura N° 60</b> – Superficie de respuesta de la viscosidad del licor de cacao – variedad CCN-51	56
<b>Figura N° 61</b> – Superficie de respuesta del indice de flujo del licor de cacao – variedad criollo	60
<b>Figura N° 62</b> – Superficie de respuesta del indice de flujo del licor de cacao – variedad CCN-51	61
<b>Figura N° 63</b> – Superficie de respuesta del indice de consistencia del licor de cacao – variedad criollo	62
<b>Figura N° 64</b> – Superficie de respuesta del indice de consistencia del licor de cacao – variedad CCN-51	63
<b>Figura N° 65</b> – Superficie de respuesta del limite de fluencia del licor de cacao – variedad criollo (Ley de Herschel Bukley)	64
<b>Figura N° 66</b> – Superficie de respuesta del limite de fluencia del licor de cacao – variedad CCN-51 (Ley de Herschel Bukley)	64
<b>Figura N° 67</b> – Superficie de respuesta del limite de fluencia del licor de cacao – variedad criollo (Ley de Casson)	65
<b>Figura N° 68</b> – Superficie de respuesta del limite de fluencia del licor de cacao – variedad CCN-51(Ley de Casson)	66
<b>Figura N° 69</b> – Superficie de respuesta de la viscosidad plastica del licor de cacao – variedad criollo	67
<b>Figura N° 70</b> – Superficie de respuesta de la viscosidad plastica del licor de cacao – variedad CCN-51	68

## INDICE DE CUADROS

Pág.

<b>Cuadro N° 01</b> – Procedencia de las variedad del cacao	7
<b>Cuadro N° 02</b> – Usos principales del cacao	8
<b>Cuadro N° 03</b> – Composición de los granos de cacao fermentados y desecados	10
<b>Cuadro N° 04</b> – Tiempo de molienda de las muestras de licor de cacao	33
<b>Cuadro N° 05</b> – Niveles de factor molienda y temperatura	38
<b>Cuadro N° 06</b> – Análisis fisicoquímicos de granos de cacao de las variedades CCN-51 y criollo	39
<b>Cuadro N° 07</b> – Análisis fisicoquímicos del licor de cacao de las variedades CCN-51 y criollo	41
<b>Cuadro N° 08</b> – Tamaño de partícula de la variedad CCN-51 obtenida a diferentes tiempos de molienda con 3 repeticiones	42
<b>Cuadro N° 09</b> – Tamaño de partícula de la variedad criollo obtenidas a diferentes tiempos de molienda con 3 repeticiones	43
<b>Cuadro N° 10</b> – Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a las 10 horas de molienda de la variedad criollo	58
<b>Cuadro N° 11</b> – Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a las 10 horas de molienda de la variedad CCN-51	59

## INDICE DE ANEXO

Pág.

<b>ANEXO A.-</b> Figuras del reómetro Brookfield DV – III Ultra, con los datos obtenidos en la prueba de reología para la variedad Criollo y Clones CCN-51 a partir del dispositivo RHEOCALC	74
<b>ANEXO B.-</b> Cuadro de Datos de los ajustes de los 3 modelos reológicos, que se obtuvieron con obtenidos el Microcal Origin5.0	75
<b>ANEXO C.-</b> Análisis de varianza con los datos de los Reogramas de ambas variedades de cacao	93
<b>ANEXO D.-</b> Análisis de varianza con los datos de Viscosidad vs. gradiente de velocidad de ambas variedades de cacao	94
<b>ANEXO E.-</b> Análisis de varianza con los datos de la Ley de Herschel - Bulkley	95
<b>ANEXO F.-</b> Análisis de varianza con los datos de la Ley de Casson	98
<b>ANEXO G.-</b> Imágenes referente al desarrolla de la investigación	100
<b>ANEXO H.-</b> Ficha técnica del licor de cacao	103

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la molienda sobre los parámetros reológicos del licor de cacao de 2 variedades (Criollo y CCN-51), el equipo utilizado para los experimentos fue el reómetro de cilindros concéntricos Brookfield DV – III Ultra y el software RHEOCALC para la obtención de los datos. Finalmente para el análisis de los datos y el análisis estadístico se usaron los programas Origin 5.0 y Statistica 7.0 respectivamente.

Las variables a analizar fueron: el tiempo de molienda (de 1 a 10 horas) y temperaturas de 30 a 80°C, y las variables respuesta fueron la viscosidad, el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad. El método para determinar las propiedades reológicas, se utilizaron modelos reológicos de Casson, Herschel-Bulkley y la Ley de la Potencia. Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completo al azar con arreglo factorial (10x6) dos factores (tiempo de molienda y temperatura de ensayo) con dos repeticiones. El análisis de varianza (ANOVA) muestra que existe un efecto significativo del tiempo de molienda y temperatura sobre los parámetros: índice de consistencia, índice de flujo, el límite de fluencia y la viscosidad plástica.

Los reogramas, para licor de cacao variedad criollo y CCN-51, indican comportamientos similares, al incrementar la temperatura de molienda, el esfuerzo de corte disminuye a valores de 3.05 D/cm<sup>2</sup> y 5.01 D/cm<sup>2</sup> a 40°C y 2.11 D/cm<sup>2</sup> y 3.13 D/cm<sup>2</sup> a 80°C respectivamente, mostrando un comportamiento de fluido no newtoniano y pseudoplástico. Al comparar estadísticamente los datos experimentales del reograma se tiene que la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente (P<0.05) en las propiedades reológicas del licor de cacao, tanto en la viscosidad y el esfuerzo de corte tal como se observa en las superficie respuesta de cada variedad.

Finalmente el modelo reológico elegido fue el Herschel-Bulkley por presentar un mejor ajuste ( $R^2 > 0.9$ ), y porque los parámetros de esta ecuación reflejan la caracterización del fluido.

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine the influence of milling on the rheological parameters of cocoa liquor 2 varieties (Criollo and CCN-51), the equipment used for the experiments was the concentric cylinder Brookfield rheometer DV - Ultra III and Rheocalc software for data collection. Finally for data analysis and statistical analysis the Origin 5.0 and Statistica 7.0 software were used respectively.

The variables analyzed were: grinding time (1 to 10 hours) and temperatures of 30 to 80°C, and the response variables were viscosity, shear stress and shear rate. The method used was a rheological analysis to determine the rheological properties, rheological models then were used to characterize these properties (Casson, Herschel-Bulkley and Power Law). For statistical analysis a complete randomized factorial design (10x6) two factors (milling time and test temperature), with two replications was used. Analysis of variance (ANOVA) shows that there is a significant effect of milling time and temperature on the parameters: consistency index, flow index, yield stress and plastic viscosity.

The rheograms for criollo cocoa liquor and CCN-51 variety, indicate similar behavior, when the case of grinding their temperatures increase occurs because the shear stress decreases to values of 3.05 D/cm<sup>2</sup> and 5.01 D/cm<sup>2</sup> with temperature of 40°C and 2.11 D/cm<sup>2</sup> and 3.13 D/cm<sup>2</sup> with temperature of 80°C, respectively, showing a non-Newtonian fluid behavior and pseudoplastic. Statistically comparing the experimental data has to rheogram temperature and the milling time significantly influenced ( $P < 0.05$ ) in the rheological properties of cocoa liquor both viscosity and shear stress as observed in the response area of each variety.

Finally the chosen rheological model Herschel-Bulkley was to present a better fit ( $R^2 > 0.9$ ), and that the parameters of this equation reflect the characterization of the fluid.

## **I.- INTRODUCCION**

La producción cacaotera del Perú es uno de los blancos más importantes para los negocios de exportación, siendo así considerado como el segundo productor mundial de cacao orgánico que exporta a Europa (Holanda y Francia) y a EE.UU. El año 2012 el Perú exportó 4,650 Tn de cacao orgánico. La región San Martín, representa el 36% en cacao orgánico, del total de volúmenes exportable a nivel nacional. San Martín exportó hasta junio del 2013, un volumen de 75 TM de cacao orgánico, es por ello que el cacao en San Martín representa un gran mercado potencial que está creciendo a un ritmo considerable y cada día nuevos mercados lo conquistan debido a su apariencia, textura, olor y sabor (Cueva, 2013).

La industria del chocolate es una de las agroindustrias con un gran crecimiento en el país actualmente. En Perú el chocolate de mesa es el producto más importante de todas las compañías del sector. Sin embargo hay una demanda elevada para productos derivados de cacao a nivel mundial, la industria más desarrollada es la que se dedica al proceso de molienda, mediante el cual se producen pasta de cacao también llamado Licor de Cacao, y de este se obtiene productos más elaborados.

El alcance de la tesis es estudiar la Reología, ciencia que estudia los fluidos y la deformación de materiales, que ahora es muy común encontrarlo dentro de los diferentes procesos industriales de alimentos por ejemplo cada día en las empresas de alimentos nos encontramos con la necesidad de realizar la circulación de fluidos viscosos por lo general del tipo no newtoniano para lo cual es necesario contar con un equipo que sea capaz de mover este líquido en forma eficiente, hablamos de una bomba.

Por ello que en este estudio, se evaluó las propiedades reológicas del licor de cacao en diferentes tiempos de molienda y temperaturas, información que puede ser utilizada en procesos industriales para la selección de equipos de bombeo y tuberías para evitar ineficiencias y sobredimensiones provocando costos muy altos en la adquisición, operación y mantenimiento de estos. Finalmente se utilizó modelos reológicos que explicaron el comportamiento del licor de cacao frente a la molienda.

La finalidad del presente trabajo de investigación fue lograr los siguientes objetivos:

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Evaluar las propiedades reológicas del licor de cacao durante el proceso de molienda.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Determinar las propiedades reológicas del licor de cacao a diferentes tiempos de molienda.
- Evaluar el efecto de las temperaturas sobre las propiedades reológicas del licor de cacao
- Ajustar los datos experimentales a los diferentes modelos reológicos (Casson, Ley de la potencia y Herschel–Bulkley), para la obtención de los parámetros reológicos del licor de cacao.

## II.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1.- Cacao

#### 2.1.1.- Origen

El cacao es una planta originaria de los trópicos húmedos de América. Su centro de origen parece estar situado en el noroeste de América del Sur, en la zona amazónica (Braudeau, 2009).

Cuando los españoles llegaron a América encontraron el cacao en México, importante centro de dispersión de la especie. Los aborígenes lo usaban desde tiempos remotos para hacer bebidas y como alimento mezclado con maíz. También era utilizado como moneda en las transacciones comerciales. Actualmente es cultivado en la mayoría de los países tropicales, en una zona comprendida entre los 20° de latitud norte y los 20° de latitud sur. Pertenece a la familia de las *Sterculiaceae* y su nombre botánico es *Theobroma cacao* L. (Botero et al., 2001).

#### 2.1.2.- Características botánicas

El cacaotero es un árbol necesitado de humedad y calor, de hoja perenne y siempre floreciente, crece entre los 6 y los 10 m de altura. Requiere sombra (crecen a la sombra de otros árboles más grandes como cocoteros y plataneros), protección del viento y un suelo rico y poroso, pero no se desarrolla bien en las tierras bajas de vapores cálidos. Su altura ideal es, más o menos, a 400 m. El terreno debe ser rico en nitrógeno y en potasio, y el clima húmedo, con una temperatura entre los 20 °C y los 30 °C (Hernández, 2004).

Sus pequeñas flores de color rosa y sus frutos crecen de forma inusual: directamente del tronco y de las ramas más antiguas. El fruto es una baya denominada maraca o mazorca, que tiene forma de calabacín alargado, se vuelve roja o amarillo purpúrea y pesa aproximadamente 450 g cuando madura

(de 15 a 30 cm de largo por 7 a 12 de ancho). Un árbol comienza a rendir cuando tiene 4 ó 5 años. En un año, cuando madura, puede tener 6.000 flores pero sólo 20 maracas. A pesar de que sus frutos maduran durante todo el año, normalmente se realizan dos cosechas: la principal (que empieza hacia el final de la estación lluviosa y continúa hasta el inicio de la estación seca) y la intermedia (al principio del siguiente periodo de lluvias), y son necesarios de cinco a seis meses entre su fertilización y su recolección **(Oyuela, 2005)**.

La mazorca tiene una corteza rugosa de casi 4 cm de espesor. Está rellena de una pulpa rosada viscosa, dulce y comestible, que encierra de 30 a 50 granos largos (blancos y carnosos) acomodados en filas en el enrejado que forma esa pulpa. Los granos o habas del cacao tienen la forma de las judías: dos partes y un germen rodeados de una envoltura rica en tanino. Su sabor en bruto es muy amargo y astringente **(Hernández, 2004)**.

### **2.1.3.- Localización y producción**

La producción nacional de cacao muestra una tendencia creciente pero con constantes fluctuaciones, asociado a cambios en los rendimientos producto de la presencia de enfermedades, principalmente la moniliasis del cacao que afecta al 40% de las plantaciones. A ello se suma el abandono parcial o total de gran parte de los cultivos en los ochentas e inicios de los noventas, ante su sustitución por el cultivo de la coca y otros productos de mayor rentabilidad **(Pezo, 2008)**.

En el 2010 el cacao participó con el 0,38% del PBI agropecuario, siendo el sustento de unos 20 mil agricultores. La producción de cacao se caracteriza por la presencia de pequeños agricultores de subsistencia que tienen como máximo entre 2 a 3 hectáreas por agricultor, empleando un nivel tecnológico bajo **(Moreno, 2010)**.

El tipo de cacao que se produce en el Perú es del tipo aromático, caracterizado por su alto contenido de grasa, que puede alcanzar niveles de 57%, lo cual de

confiere un alto valor comercial en el mercado internacional y con un gran potencial para la producción de cacao orgánico como cultivo en sistemas agroforestales (Pezo, 2008).

Las principales zonas productoras de cacao son: el Valle de Urubamba en La Convención y Lares, Quillabamba (Cusco); Valle del Río Apurímac-Ene (Ayacucho); Tingo María (Huánuco); Satipo (Junín); Jaén, Bambamarca y San Ignacio (Cajamarca); Bagua y Alto Marañón (Amazonas). El departamento que tradicionalmente concentra la mayor producción de cacao es Cusco con una participación de 33,1% del total, seguido por Ayacucho (22,3%), Amazonas (12,6%) y Junín (9,9). Estos cuatro departamentos concentran el 78% de la producción nacional (Minag, 2010).

#### **2.1.4.- Variedades**

Existen 3 variedades de cacao que tienen diferentes lugares de procedencia dentro del Perú como se muestra en el cuadro N°01 y son:

**El criollo o nativo:** Este cacao se expandió desde México y América Central, América del Sur (Colombia) y la parte norte de Ecuador (Esmeraldas) hacia otras partes del mundo, pero debido a su susceptibilidad fue desapareciendo. La producción de éste cacao es relativamente inferior, aunque se los considera de alta calidad por ser muy agradable. Tienen mazorcas de tamaño mediano, alargadas con la punta aguda recta o curvada, con cáscara poca rugosa con 10 surcos. Se caracterizan por tener semillas grandes blancas o ligeramente pigmentadas, cilíndricas u ovals y aromáticas. Fino por excelencia, es el más raro y buscado de los cacaos. Su árbol, muy frágil y de bajo rendimiento, exige cuidados minuciosos, de los que dependerá la calidad del futuro chocolate. Este cacao excepcional no se cultiva más que en pequeña cantidad. La planta de cacao Criollo es menos vigorosa que la de Forastero y es más susceptible a algunas enfermedades (Castillo, 2009).

**El forastero:** Originario de la alta Amazonia, se trata de un cacao normal, con el tanino más elevado, no están bien definidos. Se caracterizan por tener mazorcas pequeñas inicialmente son de color verde claro o rosado pálido, luego se ponen amarillas, la punta es redondeada, la cáscara de la mazorca es lisa o ligeramente rugosa, delgadas, tienen 10 surcos superficiales, con capa lignificada en el centro del pericarpio. Las semillas son pequeñas moradas, triangulares en corte transversal, aplastadas o achatadas. Sin embargo, es el que produce el grano menos aromático **(Castillo, 2009)**.

**El trinitario:** Es un grupo complejo, producto de una mezcla de criollo con forastero por lo tanto hay diferentes grados de cruzamiento, lo que indica el grado de calidad, sus características son intermedias. Es posible encontrar mazorcas, amarillas, rojas, anaranjadas, la cáscara gruesa algo rugosa, 5 surcos marcados, la punta redondeada. Dentro de éste grupo se incluye el clon CCN-51 que es el resultado de un programa de cruzamiento entre materiales Forasteros Amazónicos con Trinitarios, llegando a obtener el CCN-51 (Colección Castro Naranjal) un clon altamente productivo, con resistencia a enfermedades y con características físicas codiciadas. Generalmente, son excelentes cacaos que han ido reemplazando a los criollos allí donde han sido cultivados, debido a su mayor resistencia. Se estima que entre un 10 y un 15% de la producción mundial es de trinitario, variedad que reúne lo mejor de las otras dos **(Castillo, 2009)**.

- **CCN51.-** Es un excelente cacao, tiene un alto contenido de grasa (52%) y el tamaño de sus pepas es uniforme, eso lo hace muy apetecido por la industria, y a pesar de que con un buen proceso Post cosecha se obtiene un buen perfil de sabor, este no ha sido reconocido por los compradores como cacao fino, es necesario subrayar que quien tiene que reconocer a esta variedad dentro de la categoría de Cacaos Finos no son los ecuatorianos sino los compradores, el mercado. Es importante conocer que la manteca de cacao, que se obtiene de los cacaos corrientes y entre estos el CCN51, debe ser desodorizada (eliminación del olor) y des-saborizada (eliminación de sabor) **(Chiriboga, 2010)**.

**Cuadro N°01: Procedencia de las Variedades del Cacao.**

<b>Grupo Genético</b>	<b>%</b>	<b>Procedencia</b>	<b>%</b>
Trinitario	53.3	Huallaga Central	21.5
		Río Apurímac	15.4
		Alto Marañón	9.4
		La Convención	7.0
Forastero	37.3	La Convención	28.0
		Huallaga Central	9.3
Criollo	9.4	Zona Norte	9.4

**Fuente: Castillo, (2009).**

#### **2.1.5.- Usos**

A partir de las semillas del cacao se obtiene el cacao en grano, los cuatro productos intermedios (licor de cacao, manteca de cacao, pasta de cacao y cacao en polvo) y el chocolate como se muestran claramente el cuadro N°02. A pesar de que el mercado de chocolates es el mayor consumidor de cacao en términos de equivalente en grano, productos intermedios tales como el cacao en polvo y la manteca de cacao son utilizados en diversas áreas.

En la alimentación animal, la cascarilla del cacao se emplea como sustituto del maíz, en proporciones menores al 60%, 10% en aves y 8% en cerdos. En la industria la grasa (manteca de cacao), se utiliza en la fabricación de medicamentos, cosméticos y jabones (Rollin, 2000).

**Cuadro N°02: Usos principales del Cacao**

<b>Producto</b>	<b>Usos del Cacao y sus Derivados</b>
Manteca de cacao	Elaboración de chocolate y confitería, y también puede ser usado en la industria cosmética (cremas humectantes y jabones) y la industria farmacéutica.
Pulpa de cacao	Producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas.
Cáscara	Puede ser utilizado como comida para animales.
Cenizas de cáscara de cacao	Puede ser usado para elaborar jabones y como fertilizante de cacao, vegetales y otros cultivos
Jugo de cacao	Elaboración de jaleas y mermeladas.
Polvo de cacao	Puede ser usado como ingrediente en casi cualquier alimento, bebidas chocolatadas, postres de chocolate como helados y mouse, salsas, tortas y galletas
Pasta o licor de cacao	Se utiliza para elaborar chocolate.

Fuente: Rollin, (2000).

### **2.1.6.- Composición química**

#### **A.- Humedad**

El grano de cacao está formado por la semilla, que supone del 78 al 82% del peso del grano de cacao, y por la cascara (10-16%) que la envuelve y la protege. Además, el grano contiene un pequeño porcentaje de humedad (5-8%) que se considera óptimo para el almacenamiento. La composición de la semilla del cacao depende de factores como el genotipo o las condiciones de crecimiento del árbol (características del suelo, clima, horas de insolación, entre otros) (Beckett, 2008).

#### **B.- Grasa**

Según (Coto 2005), la manteca de cacao es una de las grasas más usadas en alimentación (chocolate, confitería, bollería industrial, etc.), En la Cuadro N°03 se

puede observar que las grasas constituyen el 54%, es decir, más de la mitad del peso de los granos de cacao.

De los granos de cacao, fermentados y tostados, se retira su corteza y se obtienen los "núcleos de cacao". De ellos, por fragmentación y prensado, se extrae la "manteca de cacao" y una masa homogénea maleable, la "pasta de cacao". La pasta básica para la fabricación del chocolate es una mezcla de manteca de cacao, pasta de cacao, sacarosa y otros componentes. La manteca de cacao es la grasa que le da la untuosidad característica al chocolate y varía entre el 22% y el 36%. **(Barrena et al., 2009).**

### **C.- Cenizas**

La cantidad de cenizas el grano de cacao se determina mediante la calcinación de la muestra a una temperatura controlada. El calentamiento a temperaturas de 500 a 600°C, incinera la materia orgánica presente en el grano, permaneciendo la materia inorgánica o cenizas; esta porción representa el contenido mineral de la muestra, es decir dentro de esa materia inorgánica del grano podemos encontrar a minerales y oligoelementos como el calcio, hierro, magnesio y fósforo. Las cenizas totales no serán superiores al 3.5% **(Hernández, 2001).**

### **D.- Acidez**

La acidez del grano de cacao se presenta desde la cosecha, se ve desde las distintas variedades que son afectados directamente por los factores climáticos y el contenido de mucilago dentro del cacao en baba. La acidez se va ganando de más a más en el proceso de fermentación, ya que es ahí donde el grano pasa por un proceso bioquímico de cambios en donde se da el sabor, olor y color característico para el chocolate. La acidez que se penetra en el grano se va volatizando poco a poco en el proceso de secado **(Torres, 2000).**

**CUADRO N°03: Composición de los granos de cacao fermentados y desecados**

<b>COMPONENTES</b>	<b>% EN PESO</b>
Agua	5%
Grasa	54%
Cafeína	0.2%
Teobromina	1.2%
Polihidroxifenoles	6%
Proteína bruta	11.5%
Mono y oligosacáridos	1%
Almidón	6%
Pentosanas	1.5%
Celulosa	9%
Ácidos carboxílicos	1.5%
Cenizas	2.6%
Otras sustancias	0.5%

Fuente: Coto, (2005).

## **2.2.-Fluido**

**Levenspiel (2003)**, define al fluido como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte, por tanto, en ausencia de éste, no habrá deformación. "Los fluidos pueden clasificarse de manera general de acuerdo con la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la relación de deformación."

La viscosidad es una medida de la fricción interna del fluido, esto es, la resistencia a la deformación. La viscosidad es una manifestación del movimiento molecular dentro del fluido. Las moléculas de regiones con alta velocidad global chocan con las moléculas que se mueven con una velocidad global menor, y viceversa. Estos choques permiten transportar cantidad de movimiento de una región de fluido a otra. Ya que los

movimientos moleculares aleatorios se ven afectados por la temperatura del medio, la viscosidad resulta ser una función de la temperatura (**Gutiérrez, 2002**).

$$\mu = f(T)$$

En la mecánica de fluidos se emplea muy frecuentemente el cociente de la viscosidad absoluta,  $\mu$ , entre la densidad,  $\rho$ . Este cociente recibe el nombre de viscosidad cinemática y se representa mediante el símbolo  $\nu$ .

La viscosidad depende de las fuerzas de cohesión y la rapidez de la transferencia de cantidad de movimiento entre moléculas. En un líquido las fuerzas de cohesión son mas grandes que en un gas debido a que las moléculas se encuentran más próximas entre sí. Al incrementarse la temperatura a un líquido, la cohesión disminuye y por lo tanto, también lo hace la viscosidad. En los gases es diferente, pues, en estos las moléculas están más separadas entre sí, por lo cual la viscosidad depende en mayor grado de la rapidez de transferencia de cantidad de movimiento la cual, al aumentar temperatura también aumenta la viscosidad (**Gutiérrez, 2002**).

La viscosidad de los fluidos es la responsable de la disipación de energía en forma de calor en el flujo de los mismos. Son dos las causas que originan esa viscosidad: 1º) las fuerzas de cohesión existentes entre las moléculas, y 2º) el intercambio de cantidad de movimiento debido a la transferencia de moléculas de unos puntos a otros dentro de la fase fluida. En los líquidos, la viscosidad es sensible a la temperatura y disminuye al aumentar ésta. Eso se debe a que predomina la disminución de la causa 1) sobre el aumento de la 2) así, por ejemplo, la viscosidad del agua a 0°C es 1,75 cP y a 100°C es de 0,28 cP. En cuanto al efecto de la presión, la viscosidad de los líquidos aumenta muy ligeramente con ella, siendo el agua una excepción, pues en ella la viscosidad primero disminuye y luego aumenta con la presión (**Guevara, 2003**).

### **2.2.1.- Fluidos Newtonianos**

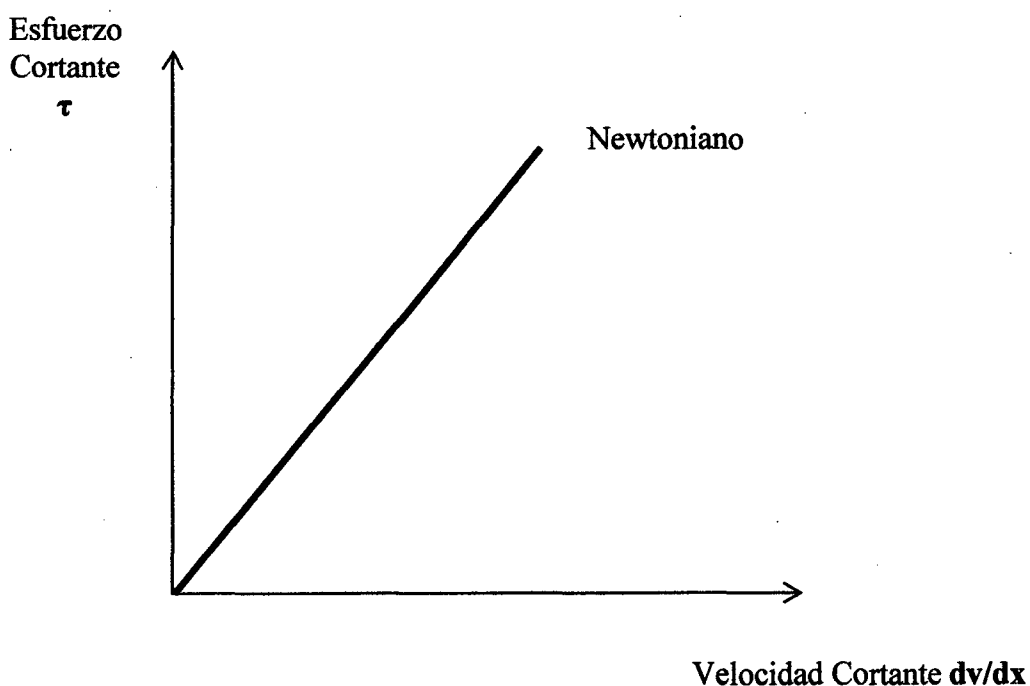
Según **Levenspiel (2003)**, los fluidos en que los esfuerzos de corte es directamente proporcional a la tasa de deformación son fluidos newtonianos. Los fluidos más comunes tales como el agua, el aire y la gasolina son newtonianos en condiciones normales. Si el fluido de la figura anterior es newtoniano entonces:

$$\tau_{yx} = \alpha \frac{dv}{dy} \dots (1)$$

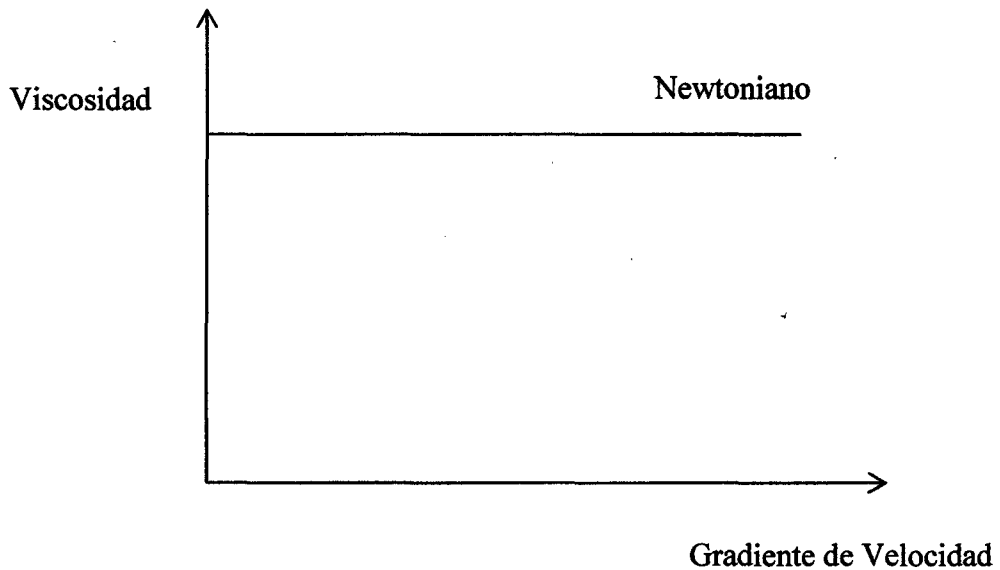
Si consideramos la deformación de dos fluidos newtonianos diferentes, digamos glicerina y agua podemos darnos cuenta de que se deformarán a diferentes proporciones ante la acción del mismo esfuerzo de corte aplicado. La glicerina presenta una resistencia mucho mayor a la deformación que el agua y por ello podemos decir que es mucho más viscosa. La constante de proporcionalidad de la ecuación (2) es la viscosidad absoluta (dinámica),  $\mu$ . Así, en términos de las coordenadas de la figura, la ley de viscosidad de Newton está dada para un flujo unidimensional por:

$$\tau = \mu \left( \frac{dv}{dy} \right) \dots (2)$$

En la figura N° 01 se aprecia la proporcionalidad de la viscosidad y así mismo en la figura N° 02 esta permanece constante al incrementarse el gradiente de viscosidad.



**Figura N°01: Fluido Newtoniano (esfuerzo de corte vs. velocidad de corte)**



**Figura N°02: Fluido Newtoniano (viscosidad vs. gradiente de velocidad)**

### 2.2.2.- Fluidos No Newtonianos

Los fluidos en los cuales el esfuerzo de corte no es directamente proporcional a la relación de deformación son no newtonianos. Por lo común, los fluidos no newtonianos se clasifican con respecto a su comportamiento en el tiempo, es decir, pueden ser dependientes del tiempo o independientes del mismo (Gutiérrez, 2002).

#### 2.2.2.1.- Fluidos No Newtonianos independientes del tiempo

Guevara (2003), comenta que un gran número de ecuaciones empíricas se han propuesto para modelar las relaciones observadas entre  $\tau_{yx}$  y  $dv/dy$  para fluidos independientes del tiempo. Pueden representarse de manera adecuada para muchas aplicaciones de la ingeniería mediante un modelo de la ley de potencia, el cual se convierte para un flujo unidimensional en:

$$\tau = k \left( \frac{dv}{dy} \right)^n \dots (3)$$

Donde:

El exponente  $n$  se llama índice de comportamiento del flujo y  $K$  es el índice de consistencia. Ambos se determinan experimentalmente. Esta ecuación se reduce a la ley de viscosidad de newton para  $n = 1$  y  $k = \mu$ .

Si la ecuación (4) se describe de la forma:

$$\tau = k \left( \frac{dv}{dy} \right)^n \left( \frac{dv}{dy} \right)$$

y haciendo  $\eta = K |dv/dy|^{n-1}$ , nos queda:

$$\tau = \eta \left( \frac{dv}{dy} \right) \dots (5)$$

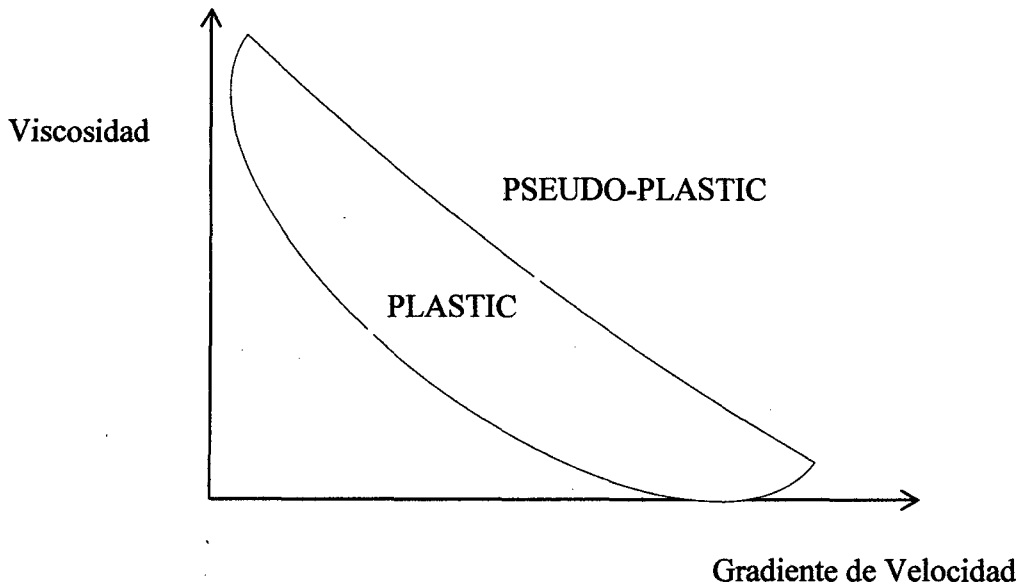
$\eta$  se denomina **viscosidad aparente**.

La mayor parte de los fluidos no newtonianos tienen viscosidades aparentes que son relativamente altas comparadas con la viscosidad del agua.

#### **a.- Fluidos Pseudoplásticos**

Los fluidos en los cuales la viscosidad aparente disminuye con el aumento de la relación de deformación ( $n < 1$ ) se llaman Pseudoplásticos como se muestra en la figura N°03. Casi todos los fluidos no newtonianos entran en este grupo; los ejemplos incluyen soluciones poliméricas, suspensiones coloidales y pulpa de papel en agua.

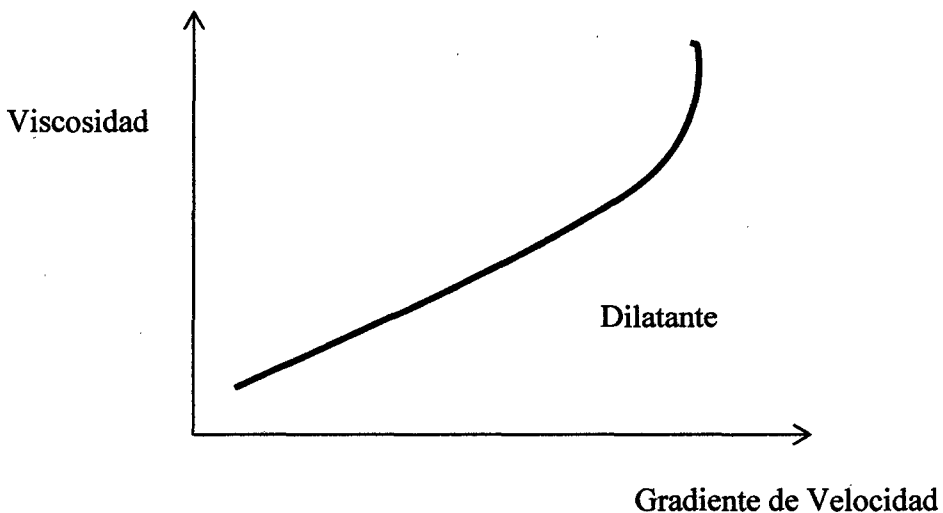
Este tipo de fluidos se caracterizan por una disminución de su viscosidad, y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación (**Levenspiel, 2003**).



**Figura N°03: Fluido Pseudoplástico**

**b.- Fluidos Dilatantes**

Si la viscosidad aparente aumenta con el incremento de la relación de deformación ( $n > 1$ ) el fluido se nombra dilatante tal como se muestra en la figura N°04. Ejemplo: suspensiones de almidón, suspensiones de arena (Domínguez, 2002).

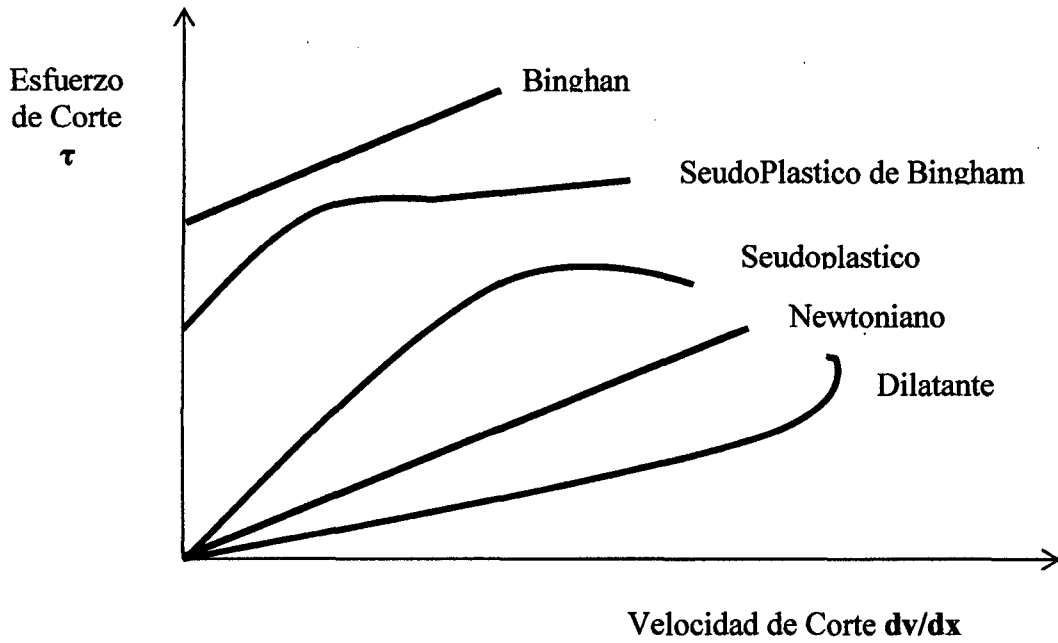


**Figura N°04: Fluido Dilatante**

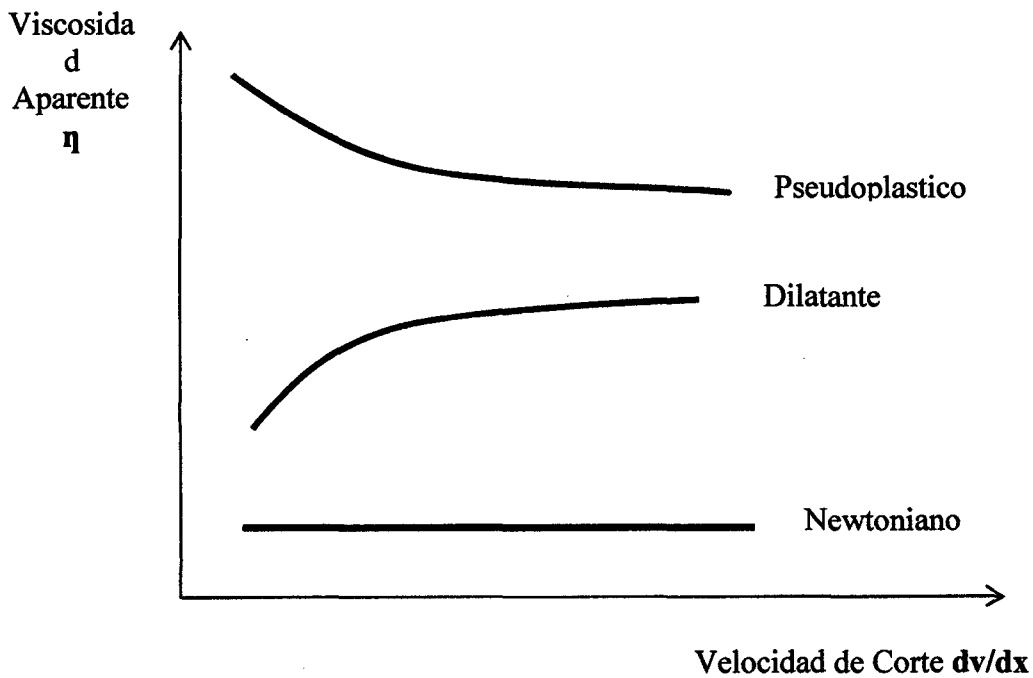
**c.- Fluidos Plástico de Bingham**

El fluido que se comporta como un sólido hasta que se excede un esfuerzo de deformación mínimo  $\tau_y$  y exhibe subsecuentemente una relación lineal entre el esfuerzo

y la relación de deformación se conoce como plástico de Bingham o ideal. A continuación se muestran en las figuras N° 05 y 06 los diagramas reológicos de los fluido no newtonianos independientes del tiempo (Domínguez, 2002).



**Figura N°05: Fluido No Newtonianos independientes del tiempo**



**Figura N°06: Fluido No Newtonianos independientes del tiempo**

### 2.2.2.2.- Fluidos No Newtonianos dependientes del tiempo

El estudio de fluidos no newtonianos dependientes del tiempo es aún más complicado por el hecho de que la variación en el tiempo de la viscosidad aparente es posible (Gutiérrez, 2002).

#### a.-Fluidos Thixotrópicos

Los fluidos tixotrópicos muestran una reducción de  $\eta$  con el tiempo ante la aplicación de un esfuerzo de corte constante, tal como se muestra en la figura N°07.

Ejemplo: Pinturas, Shampoo, yogurt, resinas de poliéster, tintas, pasta de tomate (Gutiérrez, 2002).

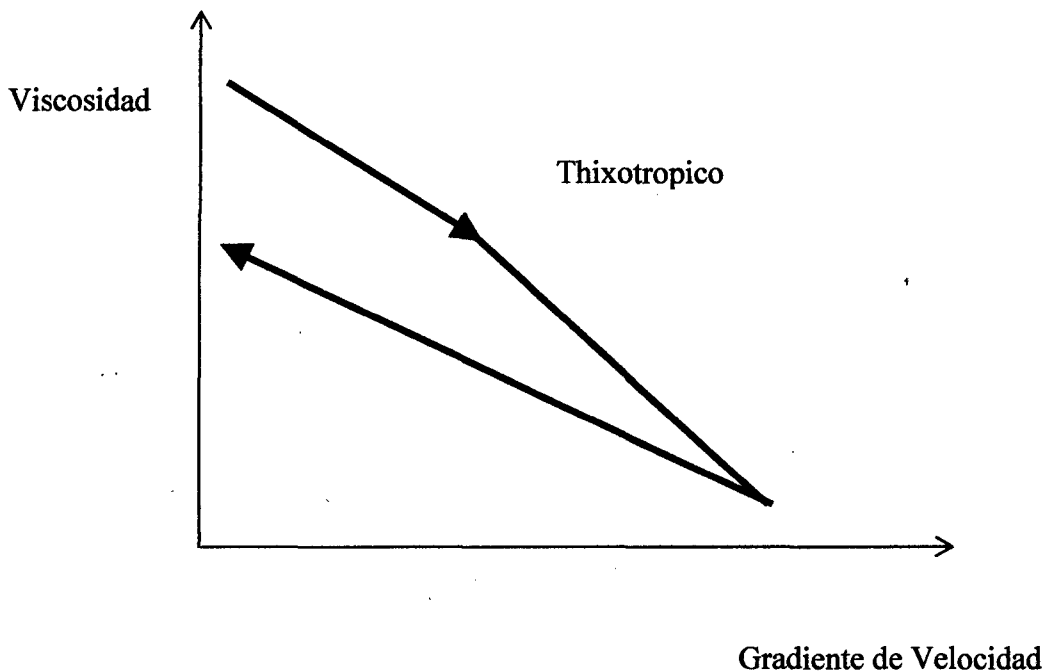
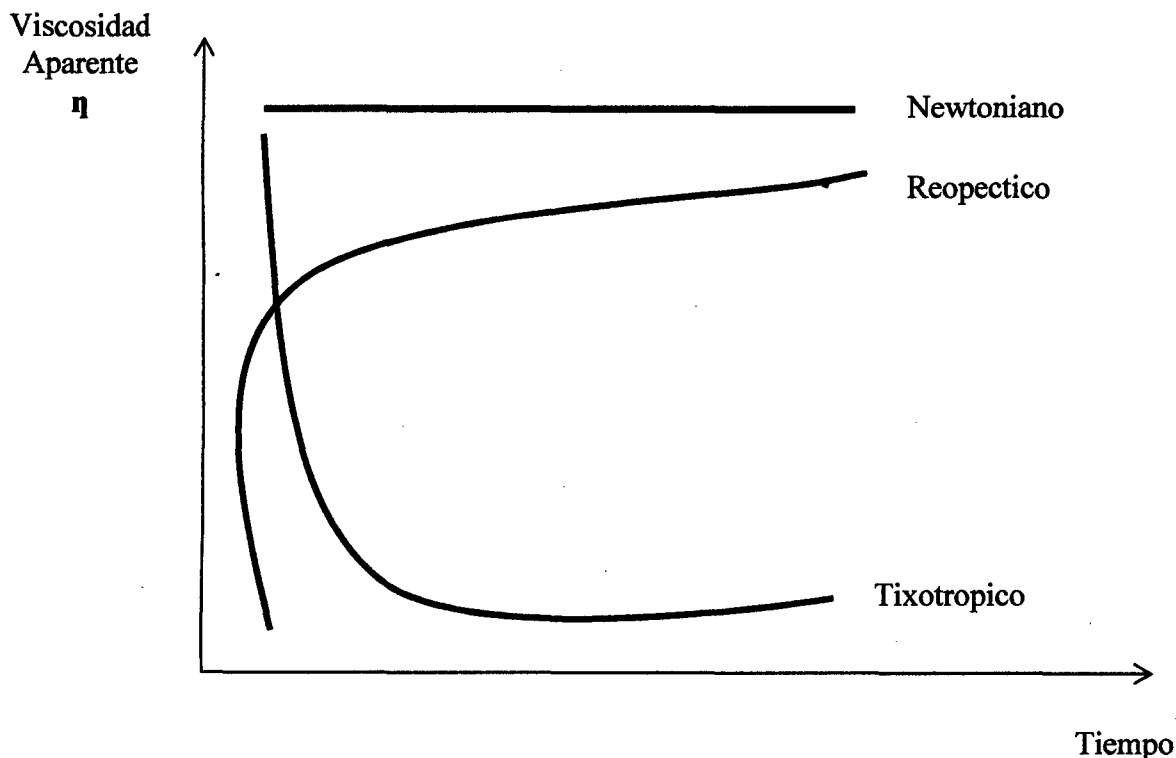


Figura N°07: Fluido Thixotrópicos

#### b.- Fluidos Reopécticos

Los fluidos reopécticos muestran un aumento de  $\eta$  con el tiempo. Ejemplo: Algunas sustancias bituminosas como betunes y ceras. En la figura N° 08 se puede mostrar un fluido reopéctico (Gutiérrez, 2002).



**Figura N°08: Fluidos Reopécticos**

### c.- Fluidos Viscoelásticos

Después de la deformación, algunos regresan parcialmente a su forma original cuando se libera el esfuerzo aplicado. A tales fluidos se les llama viscoelásticos. Ejemplo: Soluciones acuosas y celulósicas de methyl y algunos pegamentos industriales (Domínguez, 2002).

### 2.3.- Reología en Alimentos

Según Egawa (2007), el término reología fue creado como una derivación de la palabra griega "Rheos" lo que significa "flujo". La Reología es el estudio de flujo y la deformación de los materiales y la definición esto ha sido aceptado desde la creación de la Sociedad Americana de Reología en 1929.

Según Jiménez (2006), la reología es el estudio de los principios físicos que regulan el movimiento y la deformación de la materia cuando es sometida a esfuerzos externos, esto es, estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en materiales que son

capaces de fluir; definiendo como flujo la deformación continua generada por la aplicación de una fuerza tangencial. Las propiedades que dependen de esta relación se denominan parámetros reológicos y la forma como se relacionen se llama modelo reológico. La reología ha desempeñado un papel clave en el desarrollo, fabricación y elaboración de alimentos, permitiendo una caracterización completa del material y la optimización de los procesos con menores costos y mayor eficiencia.

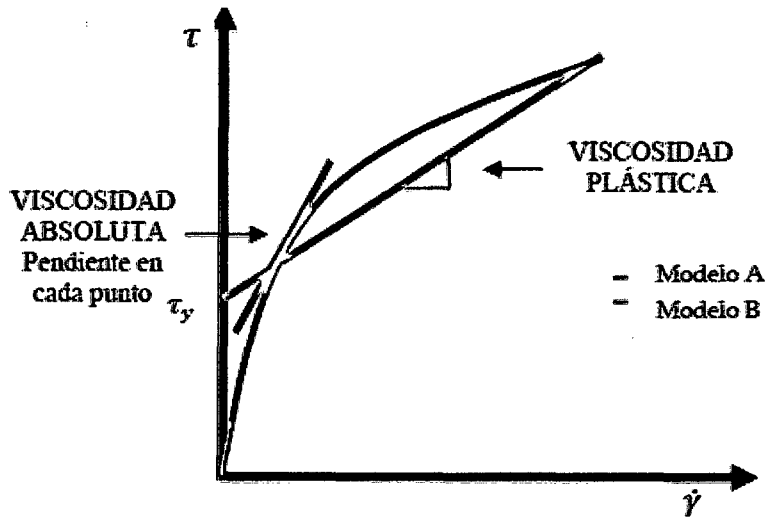
Los datos reológicos en la industria alimentaria son importantes para determinar la funcionalidad de los ingredientes en el desarrollo de productos, control de calidad de productos final o intermedio, para determinar la vida útil, la evaluación de la textura por correlación con los datos sensoriales, el cálculo de los procesos de ingeniería que abarca una gran cantidad de equipos tales como mezcladoras, extrusoras, bombas, intercambiadores de calor, tuberías o homogeneizadores (Lannes, 2002).

### 2.3.1.- Parámetros Reológicos

Según Jiménez (2006), para la definición de los parámetros reológicos se tiene en cuenta el flujo laminar, en el cual se entiende el fluido como varias capas que se deslizan una sobre otra y son los que a continuación se mencionan.

- **Esfuerzo de Corte ( $\tau_i$ ):** Resistencia del fluido al movimiento deslizante de sus capas cuando se aplica una fuerza en forma tangencial a su superficie laminar. Tiene unidades de fuerza sobre área.
- **Tasa de Corte ( $\gamma_i$ ):** Diferencia entre las velocidades de dos capas dividida la distancia que las separa. Tiene unidades de velocidad sobre longitud.
- **Viscosidad ( $\mu$ ):** Resistencia que opone un fluido a ser deformado. En términos matemáticos es la relación de proporcionalidad entre el esfuerzo de corte y la tasa de corte.

En la Figura N° 09 se aprecian los tipos de viscosidad a tratar en este trabajo.



**Figura N° 09: Tipo de Viscosidad**

Cuando un fluido es no newtoniano y no lineal presenta una viscosidad diferente para cada tasa de corte, esta es llamada viscosidad absoluta. La viscosidad plástica es generalmente explicada como la parte de la resistencia al flujo causada por fricción mecánica y es afectada por la concentración de sólidos, el tamaño y la forma de las partículas sólidas y la viscosidad de la fase fluida. Una baja viscosidad plástica puede traer ventajas como menores pérdidas de presión a altas tasas de corte y un mejor levantamiento de corte (Egawa, 2007).

- **Punto de Cedencia ( $\tau_y$ ):** Esfuerzo cortante mínimo requerido para que se dé la deformación del fluido. Representa el valor del esfuerzo de corte para una velocidad de deformación igual a cero. Su valor aumenta con el contenido de sólidos y disminuye con aumentos en el contenido de agua o dispersantes. Experimentalmente se muestra que el punto de cedencia para el modelo de Casson es menor que en el del modelo Plástico de Bingham.
- **Índice de Comportamiento ( $n$ ):** Indica la desviación del comportamiento reológico del fluido con respecto a los fluidos newtonianos, es decir, mientras más se aleje el valor de  $n$  de la unidad más pronunciadas serán las características no newtonianas del fluido.

- **Índice de Consistencia ( $k$ ):** Caracterización numérica de la consistencia del fluido, es decir, es una medida indirecta de la viscosidad, pero sus unidades dependen de  $n$ . A medida que  $k$  aumenta el fluido se hace más espeso o viscoso.

### 2.3.2.- Equipos para medir las Propiedades Reológicas.

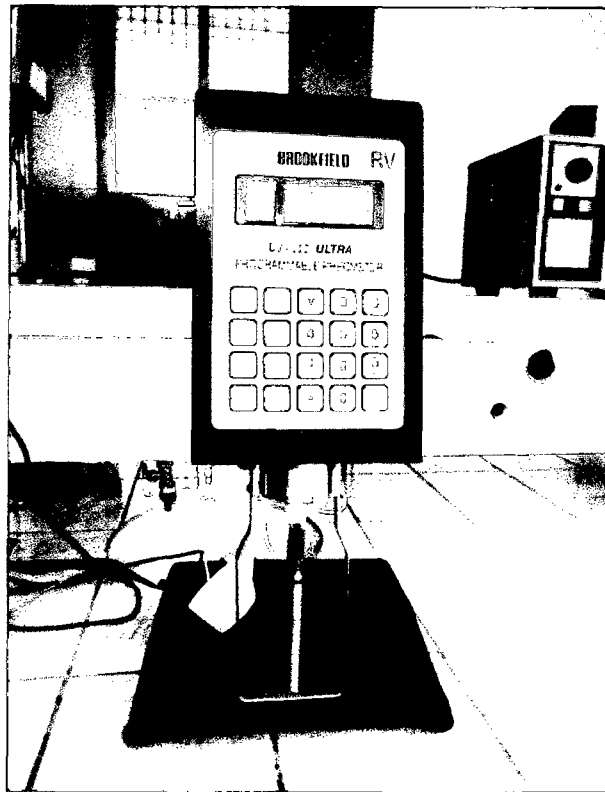
La viscosidad del fluido no es una característica que se puede medir directamente, por lo que la fuerza y la rotación para el fluido está sujeto proporcionando el valor de la viscosidad y se puede medir utilizando un equipo conocido como viscosímetros o reómetros, que puede tener configuraciones diferentes, y los sistemas más comunes son los capilares y el sistema de rotación (Vriesman, 2008).

**Viscosímetro Rotacional:** Según Lannes (2002), es un instrumento constituido principalmente por dos partes: el rotor y el estator. El rotor es el cilindro externo que gira concéntricamente al estator simulando el movimiento relativo de placas cilíndricas paralelas. El Viscosímetro rotacional proporciona lecturas diales,  $\theta_N$ , para cada velocidad rotacional fijada,  $N$ . Estos son usados para calcular  $\tau_i$  y  $\gamma_i$ , los cuales a su vez son aplicados para hallar los parámetros reológicos.

$$\tau_i = 1.067\theta$$

$$\gamma_i = 1.703N$$

La figura N° 10 muestra el Viscosímetro Brookfield DV – III Ultra que es uno de los instrumentos de gran alcance y más versátil. Combinando las características sofisticadas de un instrumento de prueba de viscosidad con una capacidad de la medida del esfuerzo de cedencia, le hacen el mejor reómetro del mercado de hoy. Posee un control opcional a través de un software (Rheocalc).



**Figura N° 10: Reómetro Brookfield DV – III Ultra**

La viscosidad se ha utilizado durante muchos años por la industria del chocolate, por ejemplo, para describir la apariencia de la calidad del producto. También se utiliza para dimensionar el tamaño de la tubería y las bombas que son utilizadas para el transporte de chocolate fundido en la planta de fabricación (Lannes 2002).

### **2.3.3.- Modelos Reológicos**

Según Steffe (2001), los modelos reológicos son una relación matemática que nos permite caracterizar la naturaleza reológica de un fluido, estudiando la deformación dada a una tasa de corte específica.

Muchas formas de ecuaciones son posibles, sin embargo, un modelo genera que se aplica a todas las situaciones no existe. Hay varias ecuaciones que describen el comportamiento no newtoniano del material entre algunos de los más

utilizados son: una ley de potencia (Ostwald de Waelle), Casson, Herschel Bulkley.

### 1) Modelo de Ostwald de Waelle (Ley de potencia)

Es un modelo de dos parámetros para el cual la viscosidad absoluta disminuye a medida que la tasa de corte aumenta. La relación entre la tasa de corte y el esfuerzo de corte está dada por la siguiente ecuación:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

Dónde:

$\tau$  = esfuerzo cortante (Pa)

$\dot{\gamma}$  = velocidad de deformación ( $s^{-1}$ )

$K$  = Índice de consistencia ( $Pa \cdot s^n$ )

$n$  = Índice de comportamiento de flujo (adimensional)

No existe un término para el punto de cedencia por tanto bajo este modelo los fluidos comienzan a fluir a una tasa de corte cero. Si en la ecuación, el índice de comportamiento reológico  $n$  es  $>1$ , el fluido se considera dilatante, porque la viscosidad del fluido aumenta a medida que aumenta la velocidad de cizallamiento. Si  $n < 1$  se considera que el fluido es pseudoplástico.

Luis (2008), evaluó los parámetros reológicos con este modelo, y encontró que los valores del índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) variaron desde 0,18 hasta 0,56 ( $n < 1$ ) destacando el comportamiento pseudoplástico de los quesos blandos. La disminución de la viscosidad aparente con el aumento de la tasa de cizallamiento significa que la resistencia al flujo de las muestras y la energía necesaria para mantenerlos a una tasa alta tensión se reduce.

### 2) Modelo de Casson

Este modelo da una buena descripción de las características reológicas de los fluidos de perforación. A altas temperaturas y bajas presiones la aproximación se hace más pobre. La relación que los caracteriza es:

$$\tau^{1/2} = \tau_y + (nD)^{1/2}$$

Dónde:

$\tau$  = esfuerzo cortante (Pa)

$\tau_y$  = límite de fluencia ( $s^{-1}$ )

$n$  = viscosidad plástica

$D$  = gradiente de velocidad

El chocolate es un ejemplo notable de este tipo de fluido, **Lannes et al. (2002)** utilizaron el modelo de Casson para describir los datos reológicos del producto líquido de chocolate de cacao y siempre se ha usado para este producto dando resultados concordantes.

### 3) Modelo de Herschel–Bulkley

Es el resultado de la combinación de aspectos teóricos y prácticos de los modelos plástico de Bingham y ley de potencia. La siguiente ecuación describe el comportamiento de un fluido regido por este modelo:

$$\tau = \tau_y + (K\dot{\gamma})^n$$

Dónde:

$\tau$  = esfuerzo cortante inicial (Pa)

$\tau_y$  = límite de fluencia ( $s^{-1}$ )

$K$  = Índice de consistencia ( $Pa \cdot s^n$ )

$n$  = Índice de comportamiento de flujo (adimensional)

$\dot{\gamma}$  = gradiente de velocidad

En este modelo los parámetros " $n$ " y " $k$ " se definen igual que en Ley de Potencia. Como casos especiales se tienen que el modelo se convierte en Plástico de Bingham cuando  $n=1$  y en Ley de Potencia cuando  $\tau_y=0$ .

**CABRAL et al. (2002)**, evaluaron el comportamiento reológico de la pulpa de copoazú tamizado, y ajustaron los datos experimentales a los modelos de Ostwald Waele, Casson y Herschel-Bulkley, y encontraron que el modelo que se

presenta a los mejores coeficientes de determinación fue el del Herschel-Bulkley. Las muestras presentaron un comportamiento no newtoniano y carácter pseudoplástico. Los valores del índice de consistencia de acuerdo con el mejor ajuste varió entre  $7,8 \times 10^3$  (Pa.s<sup>n</sup>) y  $37,7 \times 10^3$  (Pa.s<sup>n</sup>) disminuye al aumentar la temperatura, mientras que valores del índice de comportamiento de flujo varían entre  $0,29 \times 10^{-3}$  y  $16 \times 10^{-3}$  y aumentan con el aumento la temperatura.

#### 2.4.- Obtención del Licor de Cacao

Según **Barbosa (2003)**, el procesamiento del grano por lo general va desde la etapa de cosecha que consiste en la recolección de los frutos o mazorcas maduras, pasando por una serie de etapas como:

**Secado:** Después de la fermentación, las almendras tienen alrededor de 55% de humedad, debe reducirse al 6 - 8 %, que es la humedad en la cual se debe almacenar y comercializar. Durante ese tiempo, las almendras de cacao terminan los cambios para obtener el sabor y aroma a chocolate.

**Tostado:** Proceso mediante el cual se da punto final al desarrollo de sabor, color y aroma del cacao, a partir de los precursores desarrollados en la fermentación (aminoácidos y otros subproductos). La almendra de cacao (parte interna del grano de cacao) tostada, posee todas las características de un chocolate.

Durante el tostado de los granos de cacao fermentados, numerosos cambios físicos y químicos tienen lugar:

- Pérdida de la cascara de los granos.
- Los granos se vuelven más frágiles y generalmente más oscuros de color.
- Reducción del número de microorganismos presentes en los granos de cacao.
- Pérdidas de ácidos volátiles y otras sustancias que contribuyen a la acidez y amargor en el cacao.

**Descascarado:** Como consecuencia del tostado, la cáscara que está adherida firmemente al grano en el cacao crudo, se separa de este, facilitando la operación de descascarado. Esto se realiza en equipos "rompedores". El cacao y las cáscaras triturados, caen a una zaranda formada por tamices de diferentes calibres donde las cáscaras por su forma y menor peso específico son arrastradas por una corriente de aire, separándose de esta manera el cacao de la cáscara. El cacao triturado libre de cáscara es conocido como NIB.

**Molienda:** La molienda tiene por objetivo reducir el tamaño de las partículas a 25 micras. Por el contenido graso del cacao que es superior al 51 % y por el calor generado por la fricción durante la molienda, el cacao se transforma en una pasta fluida llamada Licor de Cacao, es decir reduce el tamaño de las partículas en forma que el consumidor no las perciba, en el molido se obtiene la rotura de las células duras y gomosas de los granos, y liberándose finalmente la manteca o grasa del cacao.

#### **2.4.1.- Equipo utilizado para la Molienda**

- **Conchadora U1000 (Molino de Palas)**
  
- **Marca: Refinadora UNIVERSAL**

El funcionamiento de estos molinos es a través de palas que golpean los granos contra tamices. Aquí la manteca de cacao se funde por la temperatura de fricción, pasando el grano fino y la grasa liberada a través de los tamices o cribas obteniéndose al final la pasta de cacao, que no es más que partículas de cacao suspendidas en la manteca de cacao. El producto de la molienda de cacao es la pasta o licor de cacao.

Es el proceso de refinación de varias horas donde la pasta adquiere fluidez en virtud de un amasado constante y del calor creado por la fricción. Esta operación sirve para eliminar la humedad, el exceso de acidez y de sabor amargo.

### **III.- MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1.- Lugar de ejecución del trabajo**

El trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Investigación y el laboratorio de Análisis de composición de productos alimentarios (ANACOMPA) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín y en la planta de producción de Industrias Mayo S.A. (Chocolates "Orquídea").

#### **3.2.- Materiales y equipos**

##### **3.2.1.- Materia prima.**

- Granos de cacao (criollo y CCN-51).

##### **3.2.2.- Equipos de Laboratorio.**

- Reómetro Brookfield DV – III Ultra.
- Micrómetro.
- Estufa.
- Mufla.
- Equipo Soxhlet.

##### **3.2.3.- Equipos de Planta.**

- Seleccionadora de granos.
- Tostadora.
- Descascarrilladora.
- Conchadora.

##### **3.2.4.- Materiales de laboratorio.**

- Vasos de precipitación.
- Pipetas.
- Probetas.
- Termómetro.
- Mortero.
- Placas petri.

- Crisoles.
- Baño maría.

### **3.2.5.- Reactivos.**

- Fenolftaleína.
- NaOH 0.1 N.
- Éter de petróleo.

### **3.3.- Metodología**

#### **3.3.1- Proceso de Licor de cacao**

El licor de cacao fue procesado en la planta de Industrias Mayo S.A. (Chocolates “Orquídea”), se utilizaron 2 variedades de cacao:

- Criollo
- Clones (CCN - 51)

Obtenido de 2 lotes de producción:

- ✓ OG01-190711-AP (Criollo) de la Comunidad de San Miguel de Rio Mayo.
- ✓ OG01-300711-AK (CCN-51) de la Comunidad de Nuevo Arica – Sisa.

Donde: OG = Grano orgánico

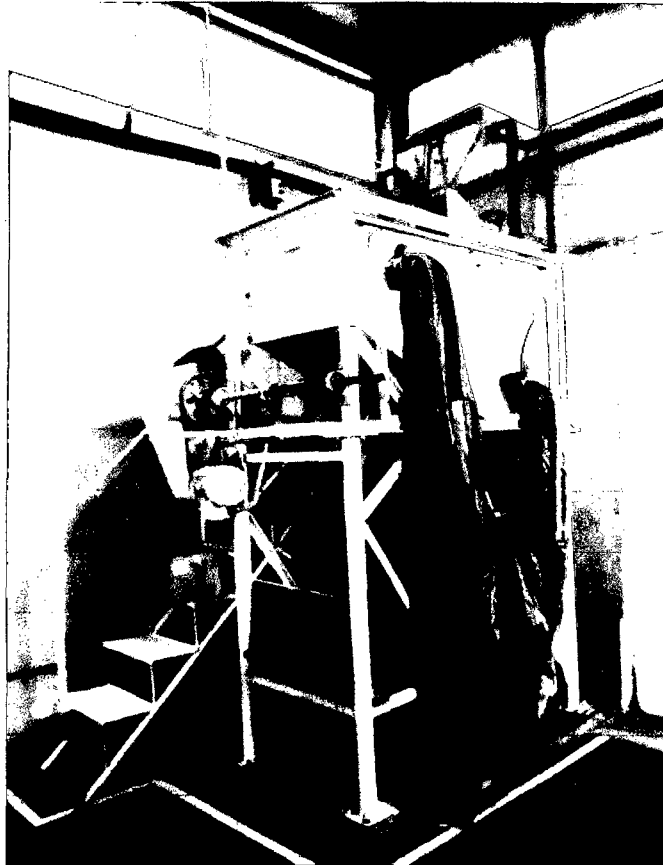
01 = Procesado en Planta

300711 = Fecha de recepción de materia prima

AP = Comunidad de origen del cacao

El licor de cacao fue obtenido siguiendo las siguientes etapas:

## 1.- Selección y Clasificación del grano

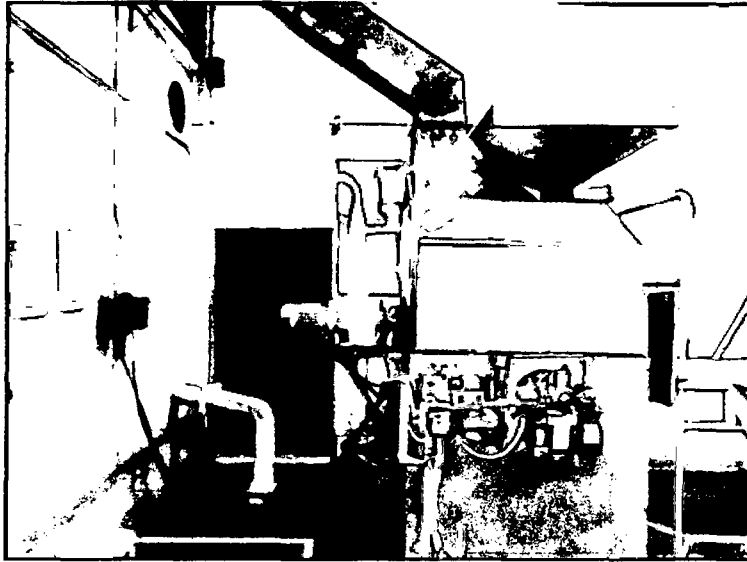


**Figura N°11: Clasificadora de granos**

Para esta etapa fue utilizada una seleccionadora de grano (marca: Regusa) como se muestra en la figura N°11, donde se distribuyeron uniformemente los granos de acuerdo a su tamaño (grande y pequeño) para clasificarlos de esa manera. La clasificación y recolección fue un proceso sencillo y práctico, que se efectuó para evitar el desperdicio del producto. Esta etapa es muy importante para que en la etapa de Tostado no se obtengan granos quemados.

## 2.- Tostado del grano

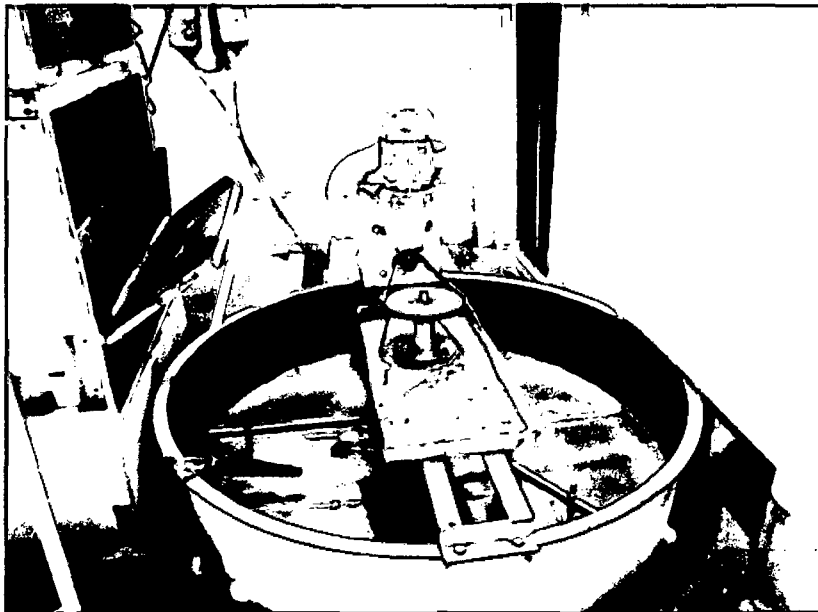
Los granos de cacao fueron tostados con la máquina tostadora (marca: Mefisa) (Figura N°12), con el fin de desarrollar el aroma, sabor y color original del cacao. La tostadora contó con un tambor rotatorio que permitió un movimiento constante del grano. El tiempo de tostado fue de aproximadamente 1 hora a una temperatura de 120-130°C, la tostadora de la planta fue de una capacidad de 150 kg/lote.



**Figura N°12: Tostadora**

### **3.- Enfriamiento del grano**

El enfriamiento fue realizado con una maquina enfriadora de granos circular compuesta por un conjunto de palas giratorias y un ventilador extractor, la cual se muestra en la figura N°13. Esta etapa fue de mucha importancia debido a que el grano de cacao tostado y caliente es susceptible a liberar las grasas que contiene lo que puede producir un apelmazamiento si son sometidos a procesos inmediatos. El tiempo de enfriado del grano fue durante aproximadamente 20 minutos.



**Figura N°13: Enfriadora de granos**

#### 4.- Descascarillado

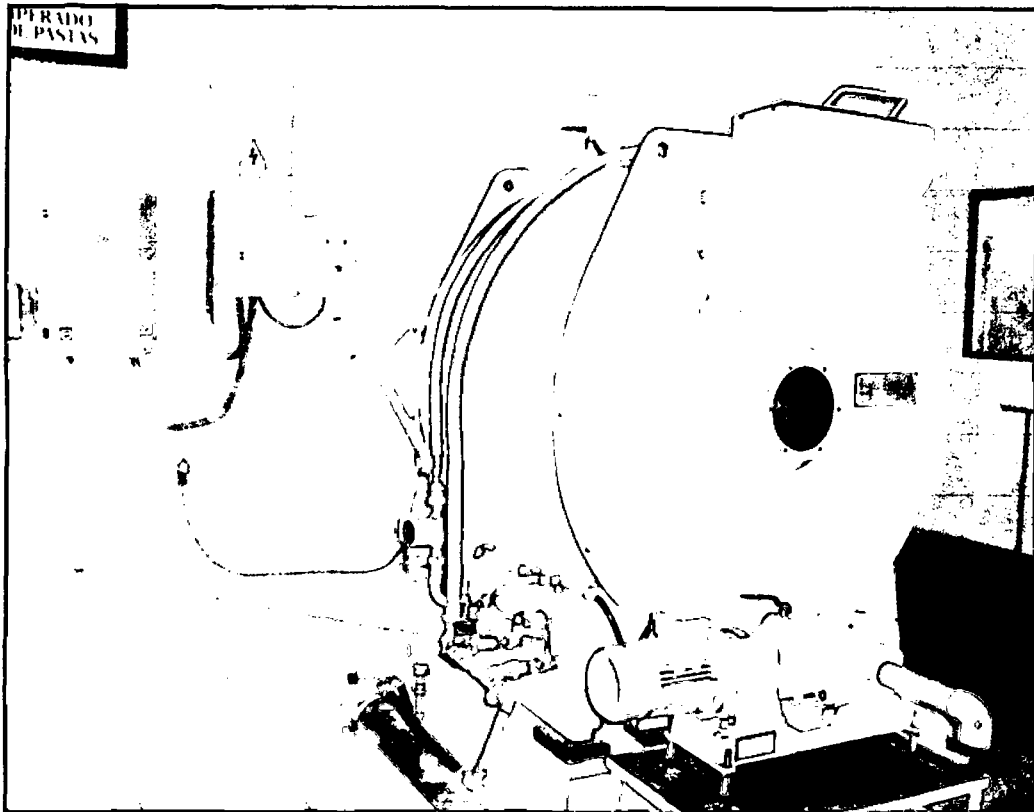


**Figura N°14: Descascarilladora**

Después del enfriamiento de los granos, se llevó a cabo el descascarillado donde se utilizó una maquina descascarrilladora (marca: Michel) (Figura N°14), para producirse eficientemente el quebrantado del grano y la separación de la cáscara, para obtener una pulpa limpia y fracturada que es la “Granela de Cacao” o “Nibs”. En esta etapa es en donde se elimina las cascaras de los granos de cacao para dejar al grano libre y limpio.

#### 5.- Molienda o Refinación

La molienda fue realizada con la Conchadora U1000 – Refinadoras UNIVERSAL (Figura N°15), donde la almendra de cacao se rompió para liberar la manteca de cacao, dando lugar a un fluido viscoso (licor de cacao), en esta etapa se controló tiempo y temperatura de proceso. Las etapas de conchado y refinado son las últimas que implican transformación ya que de esta obtendremos el producto definitivo, la molienda tuvo como objetivo eliminar la humedad, acidez, olores ásperos y el sabor astringente; y el refinado de reducir el tamaño de partículas.



**Figura N° 15: Conchadora U1000**

El proceso de molienda duró 10 horas, controlando tiempos y temperaturas hasta la obtención del licor de cacao con un micraje deseado (entre 25-30 micras).

### **3.3.2- Toma de Muestras**

Se tomaron 10 muestras a un intervalo de una hora hasta finalizar el proceso de molienda, en el Cuadro N° 04 se muestra la hora y temperatura de cada toma de muestra, este procedimiento fue realizado para cada variedad de cacao.

Las temperaturas mencionadas en el cuadro, fueron tomadas de la maquina conchadora, al momento de recoger las muestras a su respectiva hora.

**Cuadro N°04: Tiempo de molienda de las muestras de licor de cacao**

<b>Muestras</b>	<b>Tiempo de Molienda</b>	<b>Temperatura de Molienda (°C)</b>
1	1h.	35
2	2h.	47
3	3h.	54
4	4h.	59
5	5h.	60
6	6h.	63
7	7h.	65
8	8h.	67
9	9h.	69
10	10h.	70

Las 10 muestras de cada variedad de cacao fueron guardadas en refrigeración para el análisis reológico en el Laboratorio de Investigación.

### **3.3.3- Análisis fisicoquímicos**

Estos fueron realizados para los granos de cacao y para el licor de cacao (10 horas de conchado), como a continuación se indica:

- a) Granos de cacao:** Humedad, Acidez, %, fermentación, Grasas y Cenizas.
  - b) Licor de cacao:** Humedad, Acidez, Grasas y Cenizas
- **Humedad:** Por el método de secado con estufa (AOAC, 1990).

Procedimiento:

- Pesar una placa y tarar ( $P_p$ ).
- Pesar de 5-10 g de muestra en la placa ( $P_1$ )
- Colocar en la estufa a 110°C x 16 horas aproximadamente
- Enfriar y pesar ( $P_2$ ).

$$\% \text{Humedad} = \frac{P1 - P2}{m} \times 100$$

- **Grasa:** Por el método de Soxhlet (AOAC, 1990).

Procedimiento:

- Pesar el balón limpio y seco ( $P_1$ )
- Pesar la muestra 5-10 g
- Empaquetar la muestra en un papel filtro.
- Se coloca en el cuerpo del equipo, agregando el solvente (hexano o éter).
- Colocar el refrigerante y la fuente de calor.
- Extraer por 3 horas.
- Evaporar el solvente del balón y colocar en la estufa a 100°C por 1 hora.
- Enfriar y pesar ( $P_2$ )

$$\% \text{Grasa} = \frac{P2 - P1}{\text{gr. muestra}} \times 100$$

- **Cenizas:** Por el método de cenizas totales, calcinación en mufla (AOAC, 1990).

Procedimiento:

- Pesar un crisol limpio y seco ( $P$ )
- Pesar la muestra entre 2 - 2.5 g( $m$ )
- Colocar en el crisol la muestra y someter a calcinación en la mufla a 500°C aproximadamente 1-2 horas.
- Enfriar y pesar ( $P_c$ )

$$\% \text{ Cenizas Totales} = \frac{(P_c - P)}{m} \times 100$$

$P$ = Peso crisol vacío.

$P_c$ = Peso crisol + cenizas

$M$ = Peso muestra

- **% de Acidez (AOAC, 2005).**

Procedimiento:

- Se parte de muestra representativa 100 g
- Se muele la muestra representativa, hasta que el producto pase por el tamiz N°40.
- Homogenizar la muestra para el ensayo.
- Pesar 5 g de la muestra homogenizada, añadir 50 ml de alcohol neutralizado 50%.
- Se agita eventualmente cada 10 minutos por 3 horas.
- Se filtra y del filtrado se toma 10 ml que se colocan en un erlenmeyer con 2 ó 3 gotas de fenolftaleína.
- Se titula con NaOH 0.1N hasta obtener un color rosado grosella que perdura 30 segundos y anotar gasto.

Cálculos:

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times 50 \times \text{Milieq.ácido})}{W \times V_{\text{alícuota}}} \times 100$$

$V_{\text{NaOH}}$  = Volumen de la solución de Hidróxido de sodio gastado

$N_{\text{NaOH}}$  = Normalidad de la solución de Hidróxido de sodio.

$W$  = Peso de la muestra (g)

Volumen del alcohol etílico neutralizado (50 ml).

Miliequivalente (acético) = 0.282

$V_{\text{alícuota}}$  = Volumen de alícuota (10 ml)

- **Prueba de corte (Stevenson et al., 1993)**

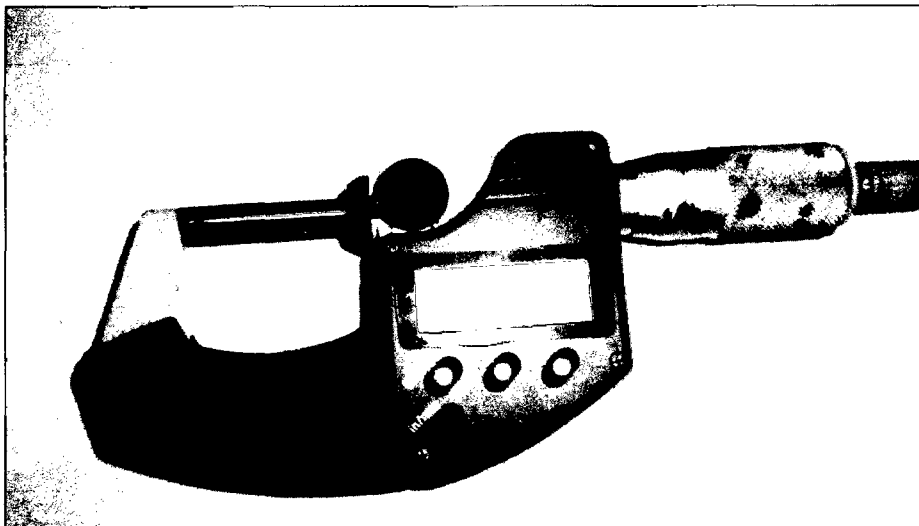
- ✓ Se hizo un corte longitudinal por la parte central de cada uno de los 100 granos, a fin de exponer la máxima superficie de corte de los cotiledones.
- ✓ Se examinó visualmente una de las mitades de cada grano

- ✓ Se contaron los granos defectuosos, es decir aquellos mohosos, pizarrosos, partidos, violetas, vanos, múltiples, germinados, dañados por insectos.
- ✓ Finalmente se contaron los granos fermentados y se saco el % de fermentación.

### 3.3.4.- Tamaño de la partícula.

Para determinar la fineza del licor de cacao, se utilizó el micrómetro (marca: Mitutoyo) que se muestra en la figura N°16. En este caso para cada muestra o tiempo de molienda se midieron su fineza a temperatura ambiente. El tamaño de partícula deseado en cada proceso de refinado fue de 25 a 30 micras.

La determinación del tamaño de partícula en el licor de cacao se realizó con el fin de determinar la fracción de volumen ocupado por las partículas de diferentes tamaños, permitiendo verificar los diámetros más representativos de las partículas que constituyen el licor de cacao estudiado en la molienda.



**Figura N° 16: Micrómetro.**

### **3.3.5.- Estudio de las propiedades reológicas.**

Para proceder a la determinación de las propiedades reológicas se hizo uso del reómetro de cilindros concéntricos de la marca Brookfield DV – III Ultra, trabajando con 6 temperaturas de ensayo (30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C y 80°C), controlando dichas temperaturas con el programa Rheocalc (programa que maneja el equipo y registra datos). Dichas temperaturas fueron escogidas por tener una correlación con el tiempo de molienda trabajada en la conchadora, aparte que se quizá tener mayor cantidad de datos para poder comparar los resultados.

Se utilizó el SPINDLE RV 1, las velocidades rotacionales del cilindro interno estuvieron dentro del rango de 2 – 198 rpm. Los datos que se obtuvieron fueron viscosidad, torque, esfuerzo de corte y velocidad de corte, con estos datos se construyeron reogramas para caracterizar el tipo de fluido del licor de cacao en los diferentes tiempos de molienda y temperaturas de ensayo.

### **3.3.6.- Diseño Experimental**

El diseño experimental utilizado fue el DCA con arreglo factorial (10x6) dos factores (tiempo de molienda y temperatura de ensayo), 10 niveles para el factor tiempo de molienda y 6 niveles para el factor temperatura, tal como se muestra en el cuadro N° 05. Cada experimento se realizó con dos repeticiones, totalizando 120 ensayos.

Las variables respuestas fueron la viscosidad plástica, índice de consistencia, punto de fluencia y otros parámetros de los modelos estudiados. Los ajustes de los datos experimentales a los modelos reológicos se realizó con el software Microcal Origin 5.0. El análisis estadístico utilizado es el Software Statistica 5.0

**Cuadro N°05: Niveles de factor molienda y temperatura**

<b>Tiempo de molienda (h)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo de molienda (h)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	30	6	30
1	40	6	40
1	50	6	50
1	60	6	60
1	70	6	70
1	80	6	80
2	30	7	30
2	40	7	40
2	50	7	50
2	60	7	60
2	70	7	70
2	80	7	80
3	30	8	30
3	40	8	40
3	50	8	50
3	60	8	60
3	70	8	70
3	80	8	80
4	30	9	30
4	40	9	40
4	50	9	50
4	60	9	60
4	70	9	70
4	80	9	80
5	30	10	30
5	40	10	40
5	50	10	50
5	60	10	60
5	70	10	70
5	80	10	80

## IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1.- Características fisicoquímicas del grano

El contenido de humedad, grasa, cenizas, acidez y porcentaje de fermentación de las Variedades de Clones CCN-51y Criollos se presenta en el cuadro N° 06. Donde se observa el porcentaje de humedad para ambas variedades fueron menos del 8%. Según **Beckett (2008)**, el grano de cacao con una humedad de 6-8% es óptimo para el almacenamiento. Estos granos tienen un contenido de humedad que puede evitar la proliferación de mohos y la infestación de insectos mientras se encuentra en grano en el almacén hasta su utilización.

En cuanto al contenido de grasa, los de la variedad CCN-51 dieron mayores valores en comparación a los de la variedad CRIOLLO. El contenido de grasa usualmente varía del 50 al 55% cuando es grano seco. Esta grasa está constituida principalmente por glicéridos como el ácido oleico, láurico, palmítico y esteárico (**Wakao, 2002**). Según **Castillo (2009)**, los clones (CCN-51) son una variedad con porcentaje de grasa mayor, alrededor de 52% es decir mas de la mitad de su composición.

**Cuadro 06:** Análisis fisicoquímico de granos de cacao de las variedades clones (CCN 51) y criollos.

<b>Humedad (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Acidez (%)</b>	<b>Fermentación (%)</b>
<b>CLONES CCN-51</b>				
7.7	53.14	3.03	4.794	79
7.5	52.56	2.94	4.102	83
<b>CRIOLLO</b>				
6.8	48.79	3.03	2.538	85
7.1	49.74	3.04	2.820	79

El contenido de cenizas de estas variedades fluctuó entre 2.94 y 3.04, indicándonos que el grano posee cantidades pequeñas de calcio, magnesio, hierro y fósforo; minerales que absorbe de la tierra. Según **Hernández (2001)**, el porcentaje de ceniza se obtiene al hacer la calcinación de los granos de cacao para obtener la materia inorgánica donde están los minerales que la planta absorbe de la tierra, por eso se dice que cuando se cosecha una mazorca de cacao es bueno botarla cerca de la plantación para que le devuelva los minerales en forma de abono a la planta.

Los granos de cacao criollo registraron niveles bajos de acidez y los granos de CCN-51 niveles más altos. Según **Torres (2000)**, los niveles de acidez en el grano de cacao dependen de la forma como se realiza el proceso de fermentación y de secado, pero también pueden verse afectados por la variedad del grano y su contenido de mucilago.

El grado de fermentación de la variedad CCN-51 fue de un promedio 81 por ciento y del criollo fue de promedio 82 por ciento, en ambos casos se puede ver que se obtuvo un buen proceso de fermentación, siendo el cacao de óptima calidad, ya que se considera una buena fermentación cuando hay un mínimo de 64 granos fermentados de 100.

#### 4.2.- Características fisicoquímicas del licor de cacao (10 horas de molienda)

El contenido de humedad, % de acidez, grasa y cenizas del licor de cacao de las variedades CCN- 51 y criollo se presenta en el cuadro N° 07.

En este, se observa que la humedad para ambas variedades es baja, porque durante el proceso de conchado se volatiliza la mayoría de los componentes, según ficha técnica usada por Industrias Mayo S.A. para calificar la calidad del producto, el licor de cacao puede tener una humedad máxima 2%, y las muestras analizadas se encuentran dentro del rango exigido.

En lo que respecta a la grasa del licor de cacao según Coto (2005), la grasa total del licor de cacao varía entre el 48% y el 52%. Se puede observar, para ambos casos, que se tienen valores dentro del rango, esta grasa luego es extraída aplicándole al licor una presión para obtener la manteca y una torta muy dura, estos subproductos son usados para la elaboración de los chocolates.

**Cuadro 07:** Análisis fisicoquímico del Licor de cacao de las variedades CCN- 51 y criollos.

<b>% Humedad (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>% Acidez (%)</b>
<b>CCN-51</b>			
1.77	52.40	5.012	1.692
1.52	51.07	6.079	1.692
<b>CRIOLLO</b>			
1.9	50.06	3.154	1.126
1.5	52.64	3.041	0.845

La acidez del licor de cacao de las variedades estuvo con un contenido bajo, porque en la etapa de molienda se va perdiendo poco a poco la acidez presente en el cacao; es ahí donde se volatiliza esta acidez que el grano ha adquirido en la fermentación. Según la ficha técnica patrón que usa Industrias Mayo S.A., la acidez se debe encontrar entre 1.5 a 2%, y los resultados para estos granos se encuentran en el rango.

El contenido de ceniza según la ficha técnica usada por Industrias Mayo S.A., debe ser como máximo de 6.5. El contenido de cenizas del licor de cacao de ambas variedades se encuentra debajo del valor estándar, esto nos indica que nuestra muestra analizada cumple con los requisitos físico-químicos.

#### 4.3.- Tamaño de partícula de las variedades de cacao durante la molienda

En los cuadros N°08 y 09 se muestra el tamaño de partículas de las 10 muestras obtenidas durante la molienda para ambas variedades, siendo la toma de muestra cada hora.

**Cuadro N°08:** Tamaño de partícula de la variedad CCN-51 obtenidas a diferentes tiempos de molienda con 3 repeticiones.

Tiempo de molienda (h)	Y <sub>1</sub> (mm)	Y <sub>2</sub> (mm)	Y <sub>3</sub> (mm)
1	0.172	0.167	0.160
2	0.110	0.108	0.112
3	0.093	0.096	0.092
4	0.083	0.087	0.085
5	0.079	0.074	0.083
6	0.062	0.066	0.057
7	0.061	0.056	0.053
8	0.044	0.044	0.046
9	0.038	0.037	0.038
10	0.036	0.032	0.033

En el cuadro N°08 se puede observar claramente que el tamaño de las partículas es menor a mayor tiempo de molienda; la fineza se va adquiriendo con un largo proceso de molienda, lo recomendable es de 10 horas y en donde el molino de palas con un amasado constante y el calor creado por la fricción hace que el licor se refine para que al momento de elaborar chocolates, este se puede deshacer en la boca fácilmente. El tamaño de partícula debe ser lo suficientemente pequeño para que el licor no se note arenoso cuando se hacen pruebas de catación y para el producto final sea agradable.

Ahora en el cuadro N°09 para el tamaño de partícula de la variedad criollo, podemos apreciar que a menor tiempo de molienda el tamaño de partícula es mayor o más difícil de medir porque es más viscosa y lo que se desea en el momento de la molienda es obtener pastas de menos viscosidad y mayor estabilidad. El tamaño final de partícula tiene una influencia sobre las características reológicas y sensoriales que tendrá el producto acabado, y esto se da en las 10 horas de molienda con valores de fineza aceptables para la elaboración de chocolates finos.

**Cuadro N°09:** Tamaño de partícula de la variedad criollo obtenidas a diferentes tiempos de molienda con 3 repeticiones.

<b>Tiempo de molienda (h)</b>	<b>Y<sub>1</sub>(mm)</b>	<b>Y<sub>2</sub>(mm)</b>	<b>Y<sub>3</sub>(mm)</b>
1	0.196	0.176	0.172
2	0.104	0.105	0.103
3	0.098	0.096	0.093
4	0.083	0.084	0.086
5	0.076	0.070	0.069
6	0.060	0.066	0.064
7	0.055	0.057	0.056
8	0.040	0.046	0.042
9	0.035	0.030	0.030
10	0.025	0.028	0.026

Comparando las 2 variedades, el tamaño de las partículas si influye en las propiedades reológicas y sensoriales. El criollo nos arrojó a las 10 horas de molienda finezas de 25, 26 y 28 $\mu$  y el CCN-51 de 32, 33 y 36 $\mu$ . Las distribuciones de tamaño de partícula obtenidas con la variedad criollo dieron mejor comportamiento reológico que los obtenidos para la variedad CCN-51, esto se debe a que los tamaños de partícula obtenidos con el primero fueron cercanos o iguales a las 25 $\mu$  y los obtenidos con la variedad CCN-51 no, es evidente con esto que las características de flujo están altamente ligadas al tamaño de partícula.

Se debe tener presente que la finura afecta a las percepciones sensoriales en la lengua y cavidad bucal, partículas con tamaños grandes dificultan su contacto con los "sensores" o papilas gustativas. Por esa razón, los sólidos de cacao en el licor deben tener tamaños alrededor de los 25 $\mu$  para asegurar la máxima sensibilidad gustativa por parte del degustador.

#### **4.4.- Análisis Reológicos**

##### **4.4.1.- Reogramas del licor de cacao – variedad criollo**

En las figuras N°17 al 26 se muestran los reogramas ( $\tau$  vs.  $\dot{\gamma}$ ) obtenidos para los diferentes tiempos de molienda (1 a 10 horas) y temperaturas de 30 a 80°C del licor de cacao

En los reogramas se pueden observar que a medida que se incrementa la temperatura, para los tiempos de molienda, el esfuerzo de corte va disminuyendo, dado que a elevadas temperaturas se rompen enlaces o moléculas que influyen en el fluido mostrando claramente el comportamiento no newtoniano. **Alvarado (2001)** menciona que la mayoría de fluidos alimentarios son no- newtonianos, con la característica de que el esfuerzo de corte disminuye al aumentar su temperatura, afirmando que la temperatura es un factor que influye de manera notoria, y si trabajamos con altas temperaturas el esfuerzo de corte será menor para todos los casos.

Otra característica resaltante es que estos fluidos dependen de la velocidad de deformación porque al aumentar la velocidad de deformación aumenta el esfuerzo de corte. Las propiedades reológicas se definen a partir de la relación existente entre fuerza o sistema de fuerzas externas y su respuesta, ya sea como deformación o flujo,

todo fluido se va deformar en mayor o menor medida al someterse a un sistema de fuerzas externas; dicho sistema de fuerzas se representa mediante el esfuerzo cortante (STEFFE, 2001).

Del análisis de varianza (ANEXO C-1) y en la figura N°27 se aprecia las temperaturas y el tiempo de molienda y que estos ejercen influencia significativa ( $P < 0.05$ ) en el esfuerzo de corte, del cual se tomo como referencia a un punto ( $51.37 \text{ s}^{-1}$  del gradiente de velocidad) para determinar este análisis estadístico.

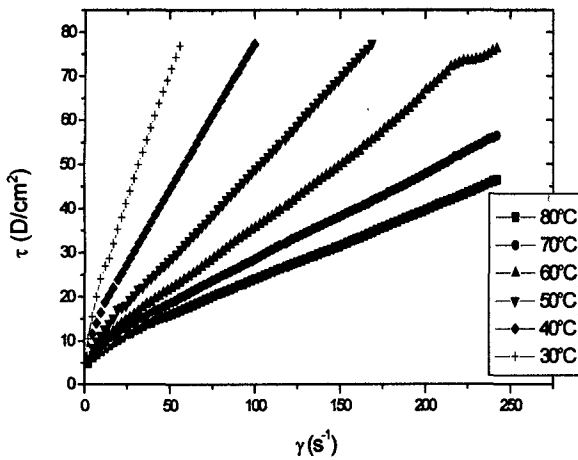


Figura 17- Reograma obtenido a 1h. de molienda de licor de cacao - variedad

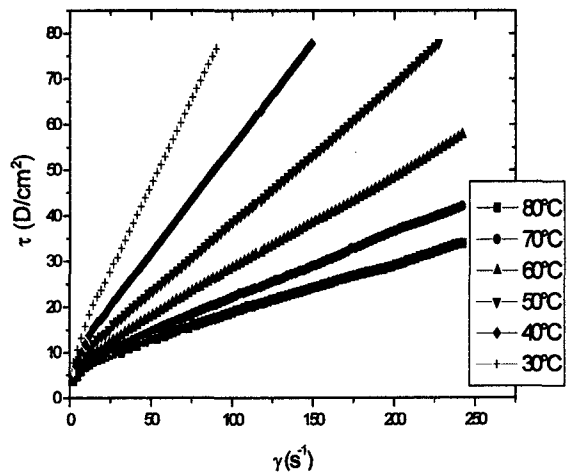


Figura 18- Reograma obtenido a 2h. de molienda de licor de cacao - variedad

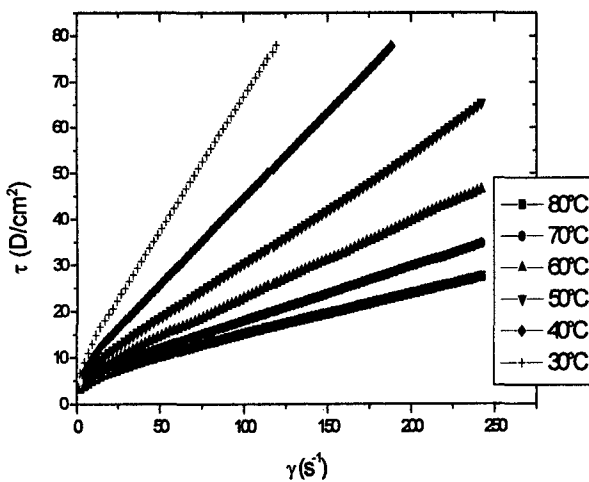


Figura 19- Reograma obtenido a 3h. de molienda de licor de cacao - variedad

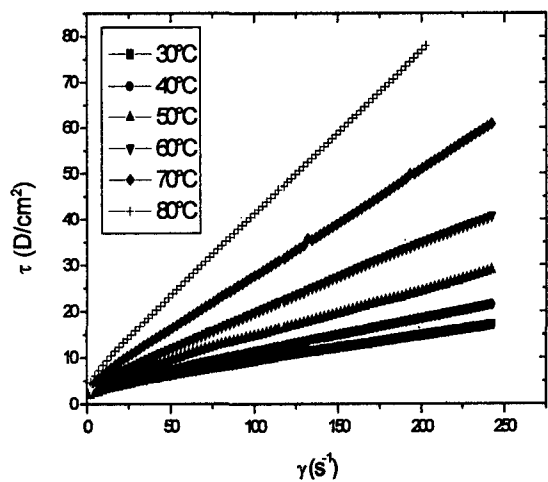
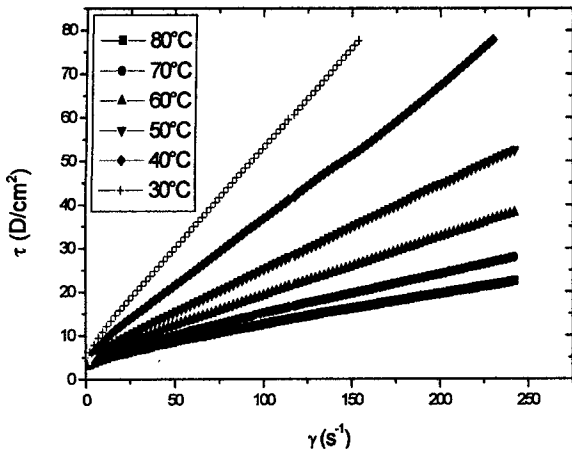
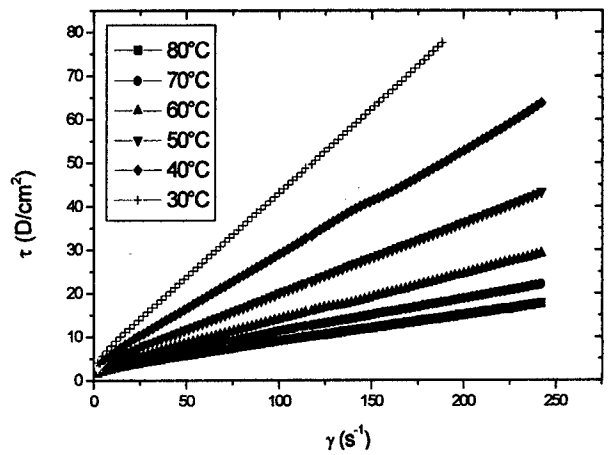


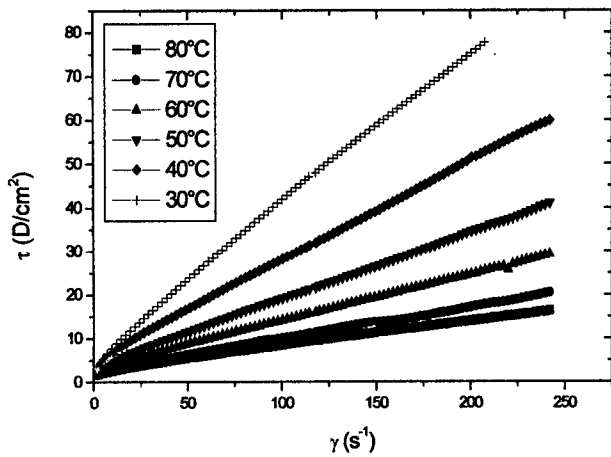
Figura 20- Reograma obtenido a 4h. de molienda de licor de cacao - variedad



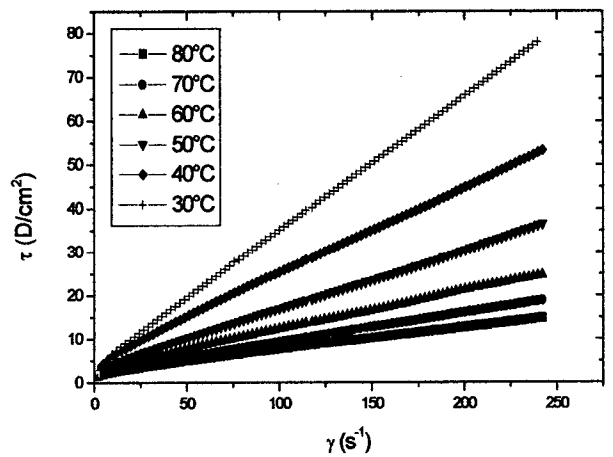
**Figura 21- Reograma obtenido a 5h. de molida de licor de cacao - variedad criollo**



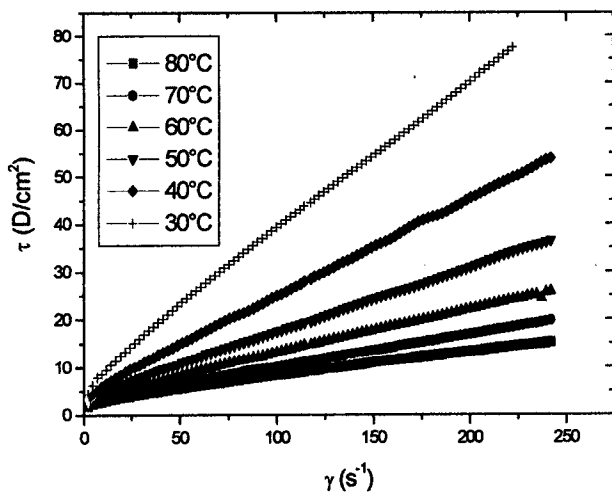
**Figura 22- Reograma obtenido a 6h. de molida de licor de cacao - variedad criollo**



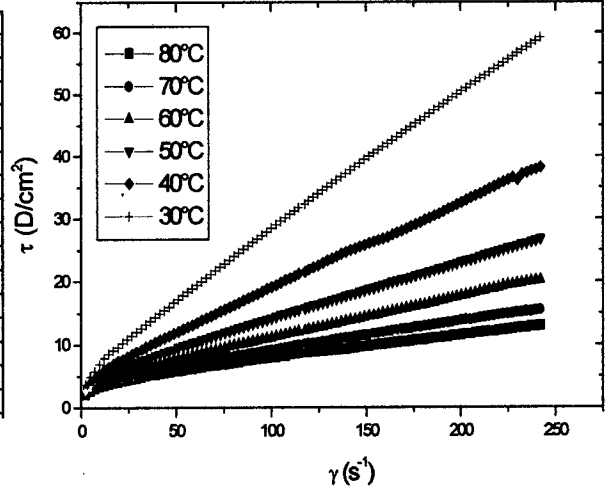
**Figura 23- Reograma obtenido a 7h. de molida de licor de cacao - variedad criollo**



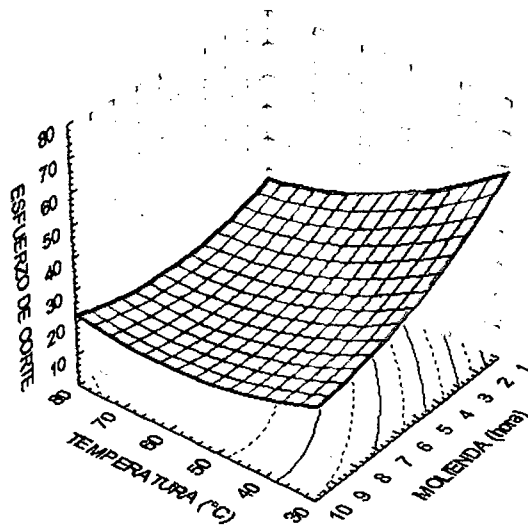
**Figura 24- Reograma obtenido a 8h. de molida de licor de cacao - variedad criollo**



**Figura 25- Reograma obtenido a 9h. de molida de licor de cacao - variedad criollo**



**Figura 26- Reograma obtenido a 10h. de molida de licor de cacao - variedad**



**Figura 27- Superficie de respuesta del esfuerzo de corte de licor de cacao- variedad criollo**

#### **4.4.2.- Viscosidad vs. velocidad de corte del licor de cacao – variedad criollo**

En las figuras N°28 al 37 están graficadas la viscosidad ( $\mu$ ) en función de la velocidad de corte ( $\dot{\gamma}$ ) obtenidas para los diferentes tiempos de molienda (1 a 10 horas) y temperaturas de 30 a 80°C.

Se observa en dichas figuras que para el efecto de la temperatura en la viscosidad, un comportamiento típico de los fluidos pseudoplásticos caracterizado por una disminución de la viscosidad con el aumento de la temperatura y velocidad de deformación.

Este comportamiento se da en otras sustancias alimentarias como el ketchup y pastas que a mayor temperatura la viscosidad resulta menor en comparación con una temperatura baja eso se debe a que al incrementarse la temperatura la cohesión disminuye y por lo tanto, también lo hace la viscosidad, porque la viscosidad depende de las fuerzas de cohesión y la rapidez de la transferencia de cantidad de movimiento entre moléculas (Levenspiel, 2003).

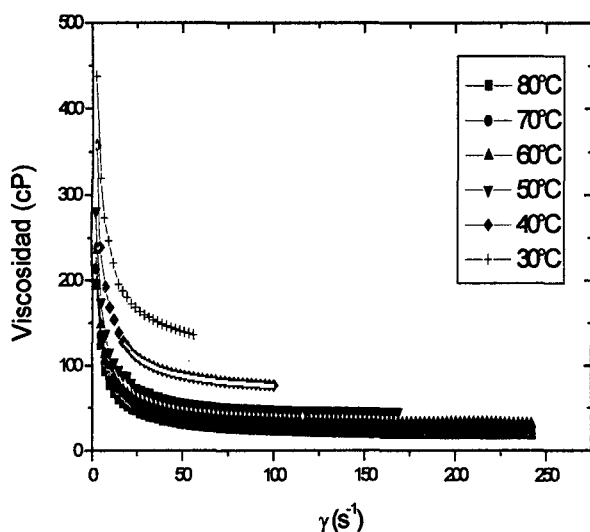
El tiempo de molienda es el otro factor que se puede apreciar en las figuras, ya que la viscosidad de un licor de cacao con un tiempo de molienda entre 1 a 5 horas considerando como temperaturas 50 a 70°C (temperaturas de trabajo de la

conchadora) es muy alta y difícil de medir, ya que aun las muestras son muy viscosas porque no han logrado aun la ruptura total de la granela, esta particularidad se puede ver en el proceso de molienda y visualmente comparando las pastas de diferentes horas.

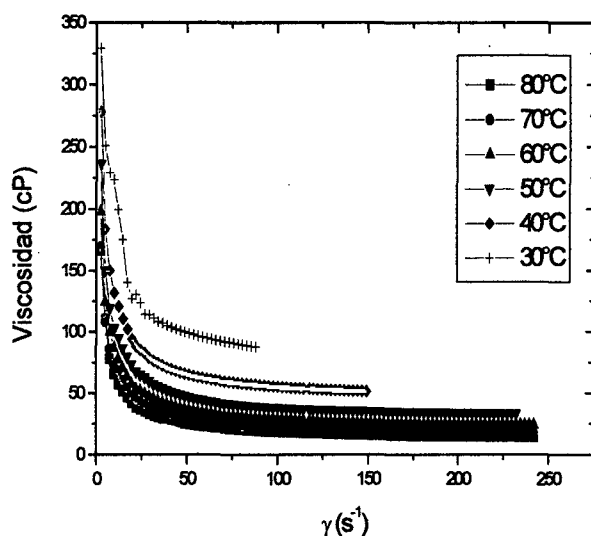
Para la primera hora de conchado se tuvo valores de 451.20cp y 452.80cp a una temperatura de 30°C, se observa valores altos, y comparando estadísticamente los datos experimentales del reograma, tomando todos los valores de la viscosidad como referencia a un punto (51.37 s<sup>-1</sup> del gradiente de velocidad)

Según el ANOVA del anexo D-1 se tiene que la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente (P<0.05), como se observa en la figura N°38 de la superficie respuesta

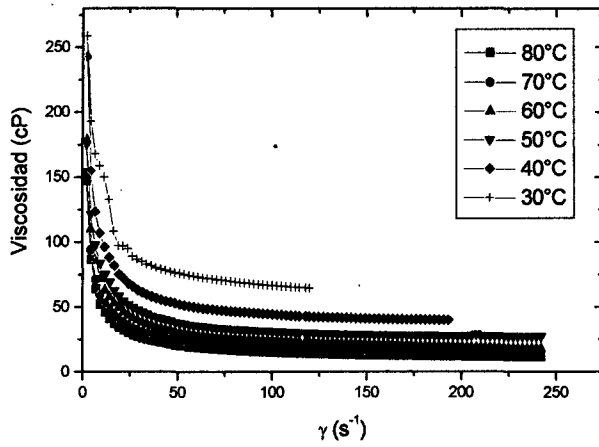
Según Chevalley (2006), la viscosidad de una masa de chocolate no conchada es muy alta (400 a 500cp), y frecuentemente muy difícil de medir.



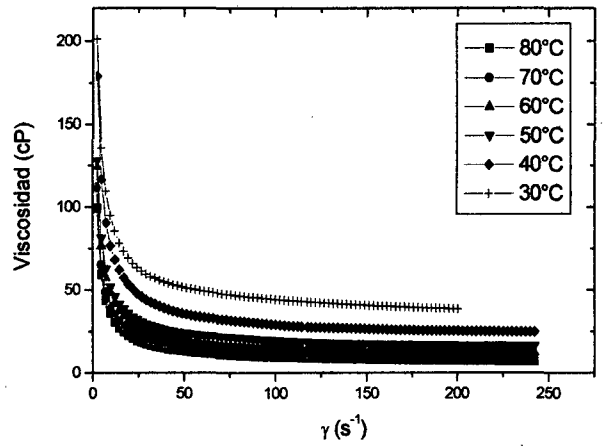
**Figura 28- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 1h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



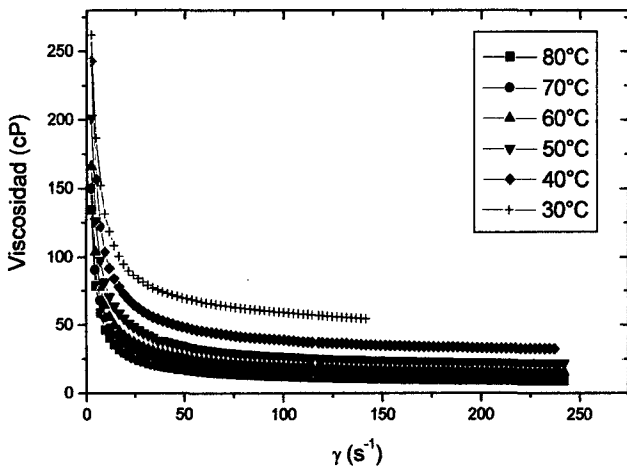
**Figura 29- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 2h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



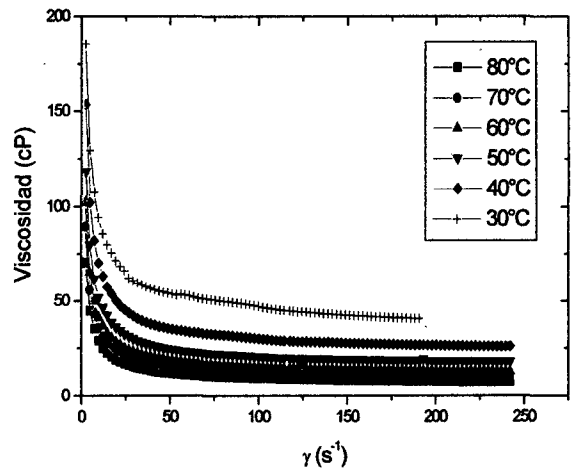
**Figura 30- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 3h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



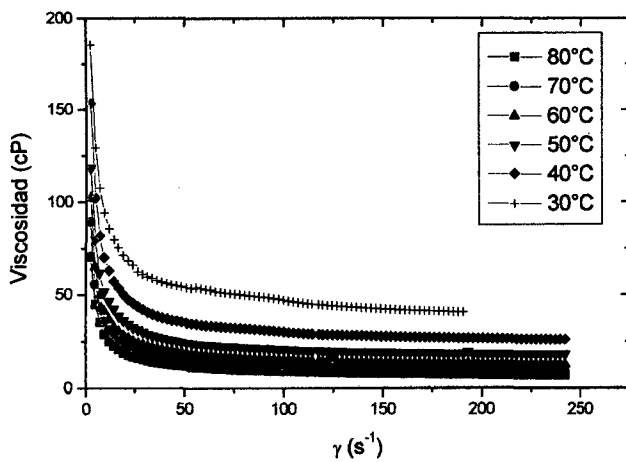
**Figura 31- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 4h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



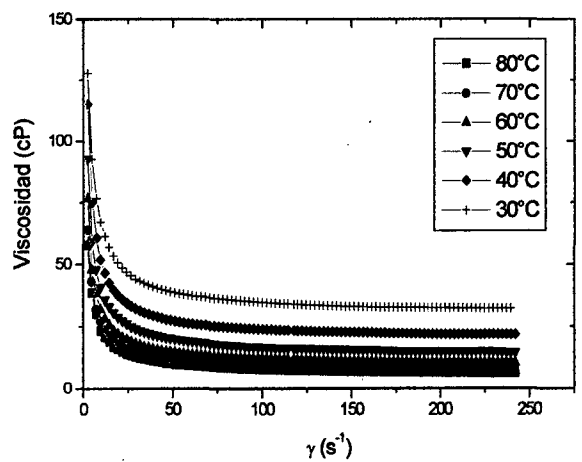
**Figura 32- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 5h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



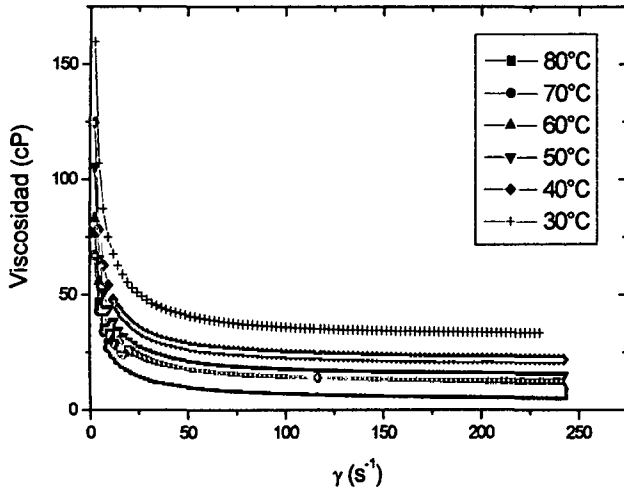
**Figura 33- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 6h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



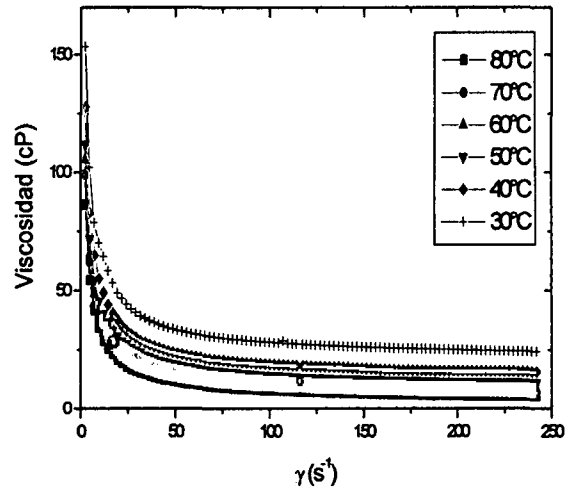
**Figura 34- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 7h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



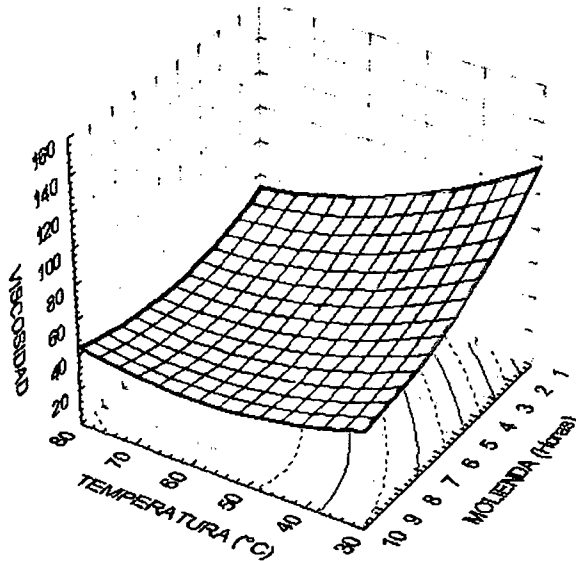
**Figura 35- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 8h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



**Figura 36- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 9h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



**Figura 37- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 10h. de molienda de licor de cacao - variedad criollo**



**Figura 38- Superficie de respuesta de la viscosidad de licor de cacao - variedad criollo**

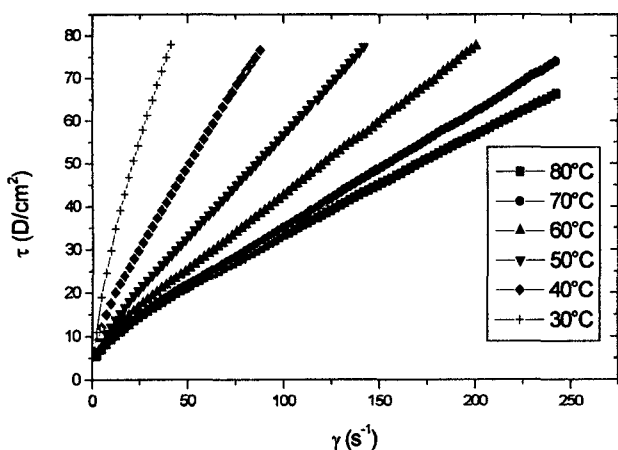
#### 4.4.3.- Reogramas del licor de cacao – variedad CCN-51

En las figuras N° 39 – 48 se muestran los reogramas ( $\tau$  vs.  $\gamma$ ) obtenidos para los diferentes tiempos de molienda (1 a 10 horas) y temperaturas de 30 a 80°C.

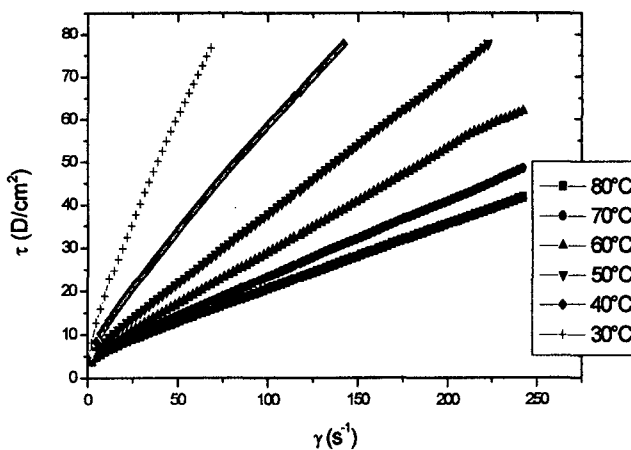
Igualmente se observa para este caso que cuando la temperatura incrementa para todos los tiempo de molienda, el esfuerzo de corte va disminuyendo progresivamente, afirmando el efecto significativo que tiene la temperatura en el esfuerzo de corte. Estos reogramas se caracterizan por un aumento del esfuerzo de corte con la velocidad de deformación.

**Levenspiel (2003)**, menciona que los fluidos Pseudoplásticos pertenecen la mayoría de los fluidos no-Newtonianos como son: grasas, suspensiones de almidón, la mayonesa, ciertos fluidos biológicos, pastas, etc, mismos que experimentalmente han demostrado una disminución del esfuerzo cortante al aumentar la temperatura.

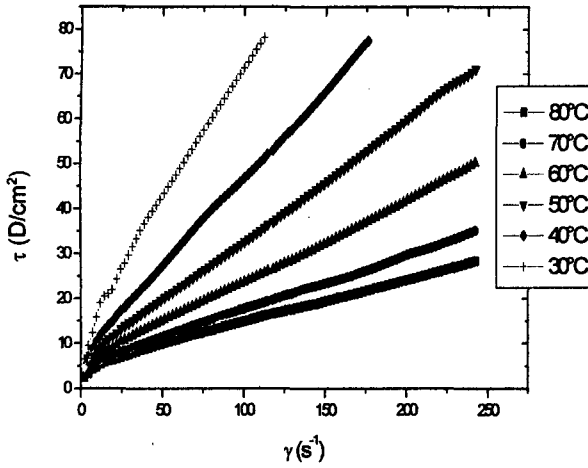
Comparando los datos experimental del reograma estadísticamente, tomando los valores del esfuerzo de corte como referencia a un punto ( $51.37 \text{ s}^{-1}$  del gradiente de velocidad), según el ANOVA del anexo C-2 se tiene que la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente ( $P < 0.05$ ), como se observa en la figura N°49 de la superficie respuesta. Al ver los 2 reogramas de ambas variedades se observa que tienen comportamientos similares, pero la variedad criollo presenta valores menores en el esfuerzo de corte para las mismas condiciones de temperatura y velocidad de deformación por sus características fisicoquímicas que ayudan a tener una molienda más eficiente.



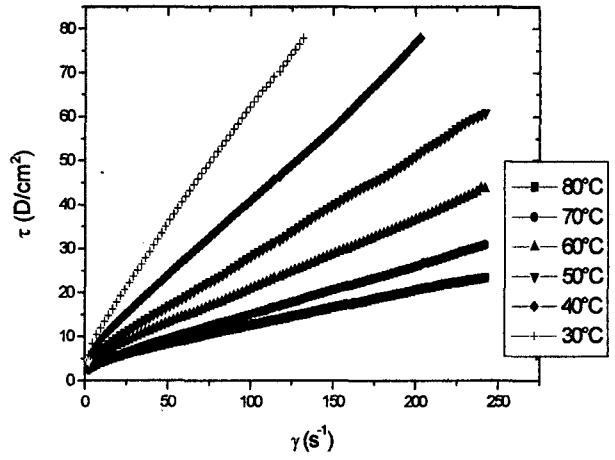
**Figura 39- Reograma obtenido a 1h. de molienda de licor de cacao - variedad**



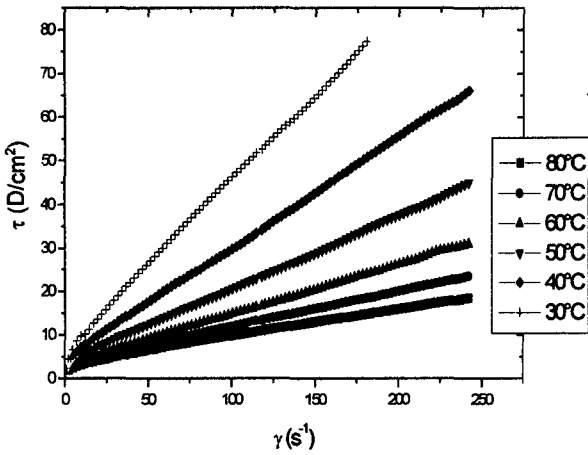
**Figura 40- Reograma obtenido a 2h. de molienda de licor de cacao - variedad**



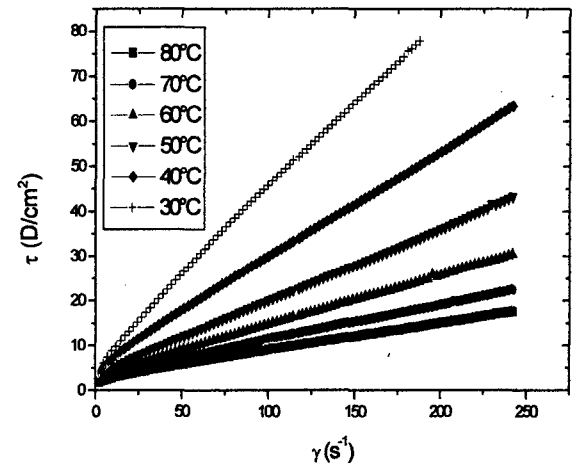
**Figura 41- Reograma obtenido a 3h. de mollienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



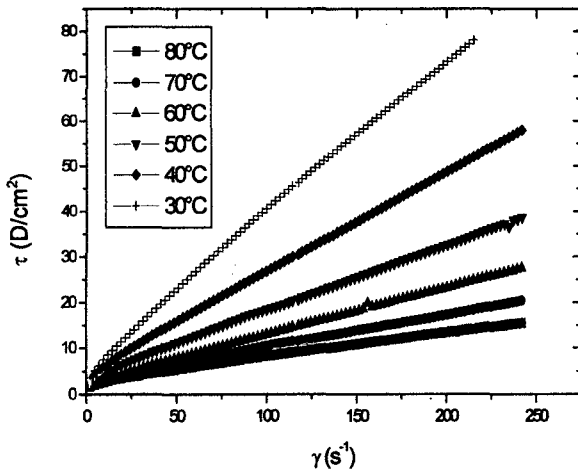
**Figura 42- Reograma obtenido a 4h. de mollienda de licor de cacao - variedad**



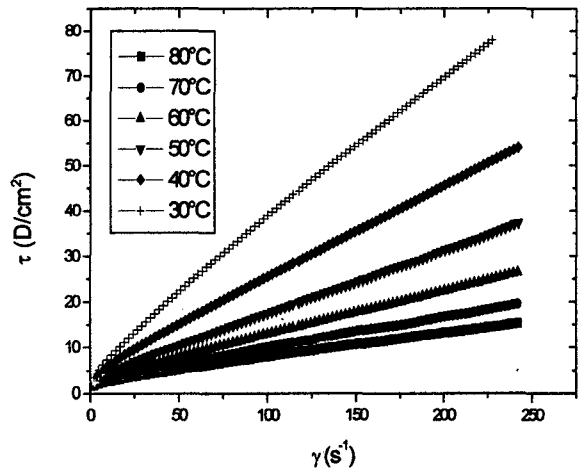
**Figura 43- Reograma obtenido a 5h. de mollienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



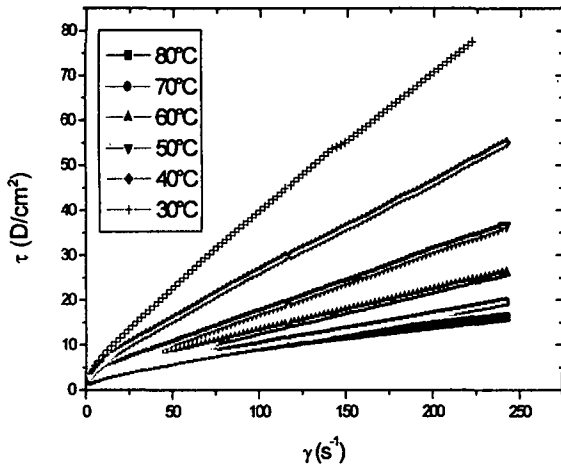
**Figura 44- Reograma obtenido a 6h. de mollienda de licor de cacao - variedad**



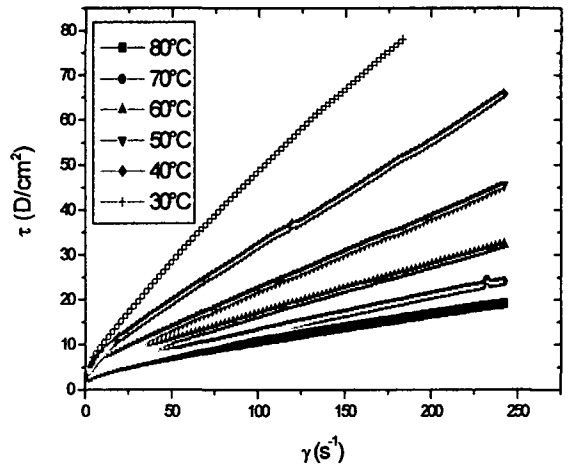
**Figura 45- Reograma obtenido a 7h. de mollienda del licor de cacao - variedad CCN-51**



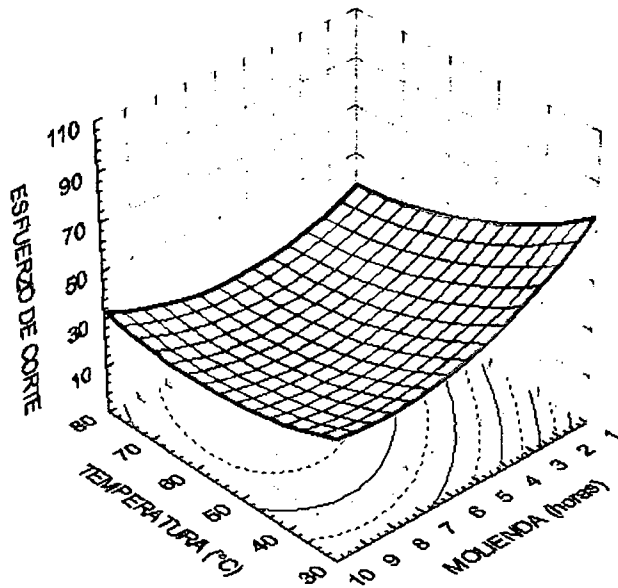
**Figura 46- Reograma obtenido a 8h. de mollienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



**Figura 47-Reograma obtenido a 9h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



**Figura 48- Reograma obtenido a 10h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



**Figura 49- Superficie de respuesta del esfuerzo de corte de licor de cacao - variedad CCN-51**

#### **4.4.4.- Viscosidad vs. velocidad de corte del licor de cacao – variedad CCN-51**

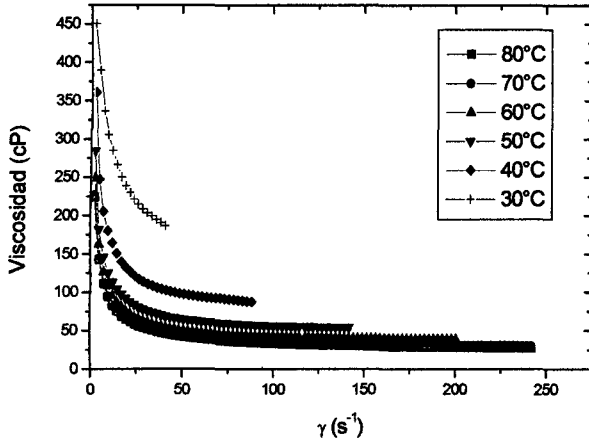
En las figuras N°50 a 59 están graficadas la viscosidad ( $\mu$ ) en función de la velocidad de corte ( $\dot{\gamma}$ ) obtenidas para los diferentes tiempos de molienda (1-10 horas) y temperaturas de 30 a 80°C.

El comportamiento del licor de cacao es de un fluido pseudoplástico, al igual que la variedad de Criollo, confirmando así que este fluido es de tipo No Newtoniano, porque se observa que al aumentar la velocidad de corte la viscosidad disminuye para un mismo tiempo de molienda para todos los casos. En estos reogramas se ven que a mayor temperatura la viscosidad resulta menor, tal como en el caso anterior.

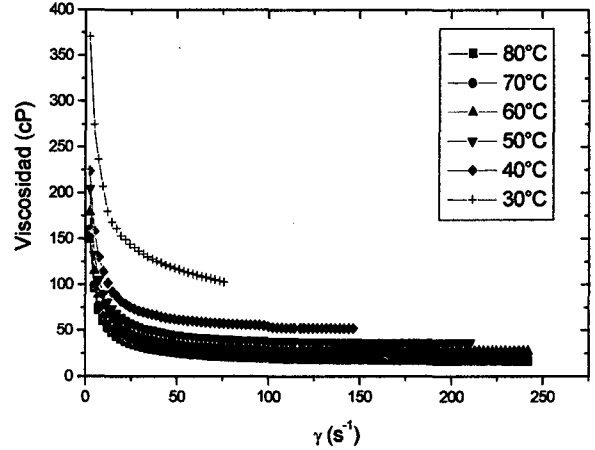
Muller (1979), comenta que los alimentos fluidos están sujetos a diferentes temperaturas durante su procesamiento, almacenamiento, transportación, venta y consumo. Por esta razón, las propiedades reológicas son estudiadas como una función de la temperatura. Generalmente la viscosidad desciende muy acusadamente al aumentar la temperatura.

En los reogramas también se pueden observar que para los diferentes tiempos de molienda a una misma temperatura, la viscosidad disminuye. Este comportamiento da por entendido que un licor de poco trabajo de molienda tendrá una viscosidad alta y por ende la fluidez será difícil de medir, como menciona Rao et al. (1984), la viscosidad es usualmente considerada como una importante propiedad física relacionada con la calidad de los productos alimenticios y para definir su comportamiento reológico.

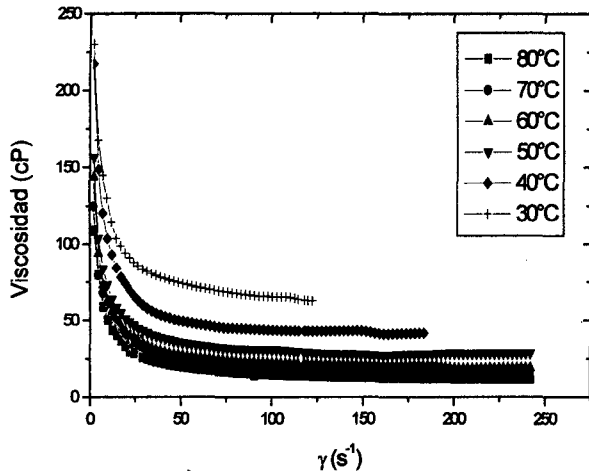
En la figura N°60 de la superficie respuesta, se observa que la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente ( $P < 0.05$ ). Esto se da comparando estadísticamente los datos experimentales del reograma, tomando valores de la viscosidad como referencia a un punto ( $51.37 \text{ s}^{-1}$  del gradiente de velocidad), según el ANOVA del anexo D-2.



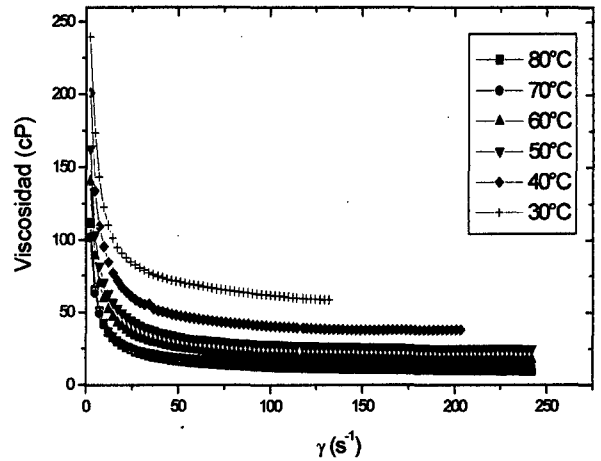
**Figura 50- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 1h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



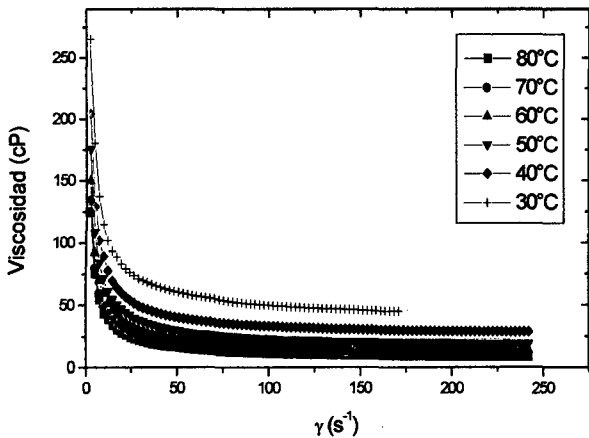
**Figura 51- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 2h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



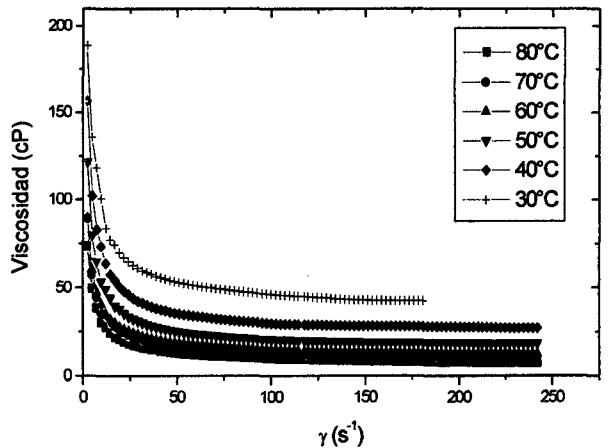
**Figura 52- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 3h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



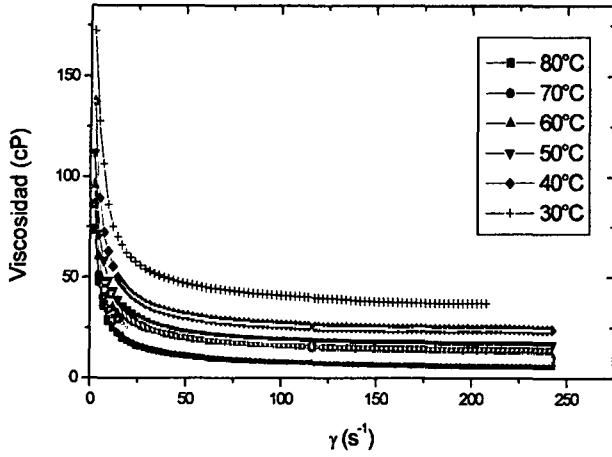
**Figura 53- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 4h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



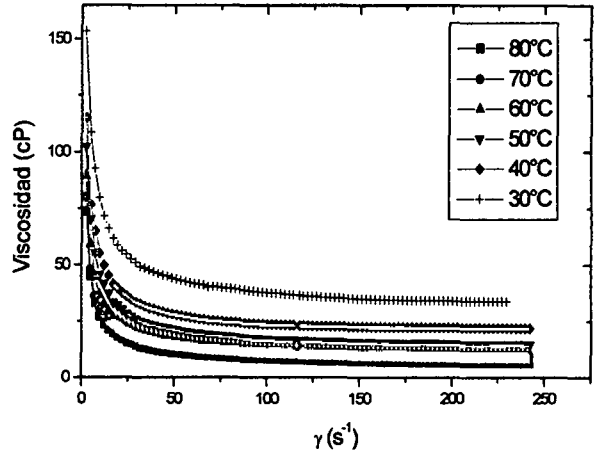
**Figura 54- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 5h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



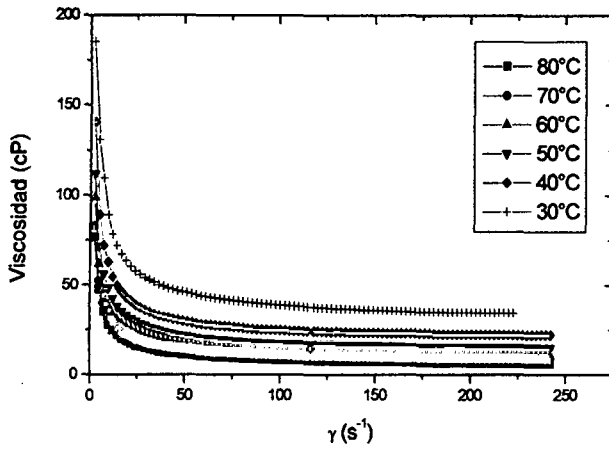
**Figura 55- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 6h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



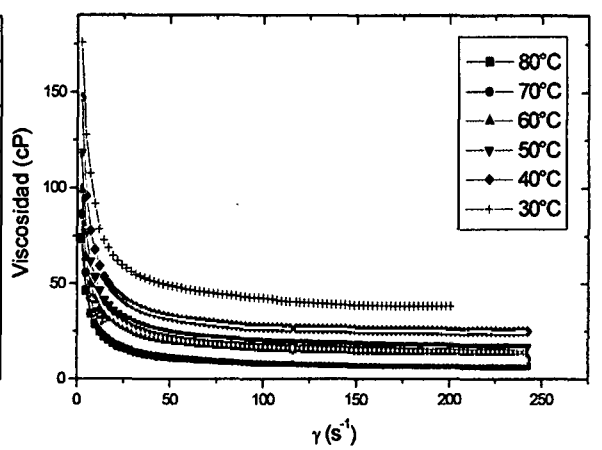
**Figura 56 - Viscosidad en función de la velocidad de corte a 7h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



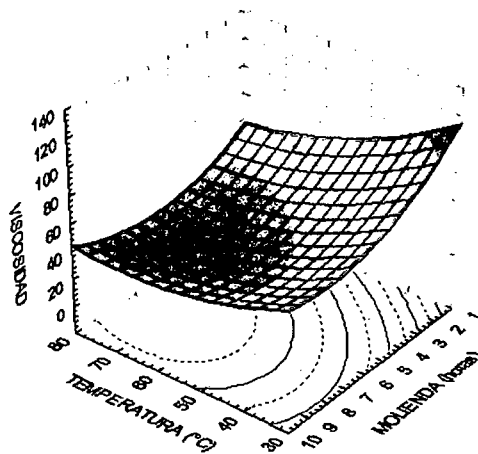
**Figura 57- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 8h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



**Figura 58- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 9h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



**Figura 59- Viscosidad en función de la velocidad de corte a 10h. de molienda de licor de cacao - variedad CCN-51**



**Figura 60- Superficie de respuesta del esfuerzo de corte de licor de cacao - variedad CCN-51**

#### **4.5.- Modelos Reológicos aplicados al licor de cacao de la variedad criollo y CCN-51.**

Los valores experimentales obtenidos del reómetro fueron ajustados a los modelos de Herschel-Bulkley, Casson y Ley de Potencia para el cálculo de los parámetros reológicos. En los cuadros N° 10 y 11 se muestran los parámetros de dichos modelos a las 10 horas de conchado del licor de cacao, ajustados al software Microcalc Origin 5.0

De los cuadros se puede ver que la ecuación que presentó mejor ajuste fue la de Herschel – Bulkley por las siguientes características:

- Presento un mejor ajuste ( $R^2 > 0.9$ ), teniendo como valores promedios un  $R^2 = 0.99955$  para criollo y  $R^2 = 0.99975$  para el CCN-51, siendo valores altos en comparación a los valores promedios de las otras 2 ecuaciones, como por ejemplo la Ley de la Potencia que tuvo un promedio de  $R^2 = 0.99150$  para la variedad criollo y la Ley de Casson un promedio de  $R^2 = 0.99954$  para el CCN-51.
- El parámetro de esta ecuación  $n$  (índice de flujo) representa la caracterización de este fluido, porque si en la ecuación  $n$  es  $< 1$ , el fluido se considera pseudoplástico, porque la viscosidad del fluido disminuye a medida que aumenta la velocidad de cizallamiento. Por ejemplo de la ecuación de Herschel – Bulkley en la variedad criollo para una temperatura de  $80^\circ\text{C}$  se tiene valor de  $n = 0.68249$  y temperatura de  $30^\circ\text{C}$  un  $n = 0.92991$ , son valores que mas se acercan a la unidad y tienen comportamiento pseudoplástico como se vio en los reogramas anteriores; y la Ley de la potencia que también cuenta con este parámetro tiene valores menores ( $n = 0.79068$  y  $n = 0.46763$ ). Se da el mismo caso para la variedad CCN-51.
- Según investigaciones de CABRAL (2002), evaluaron el comportamiento reológico de la pulpa de copoazú tamizado, y ajustaron los datos experimentales a los modelos de Ostwald Waelle, Casson y Herschel-Bulkley, y encontraron que el modelo que se presenta a los mejores coeficientes de determinación fue el del Herschel-Bulkley. Las muestras presentaron un comportamiento no newtoniano y carácter pseudoplástico.

**Cuadro10: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a las 10 horas de molienda de la variedad criollo.**

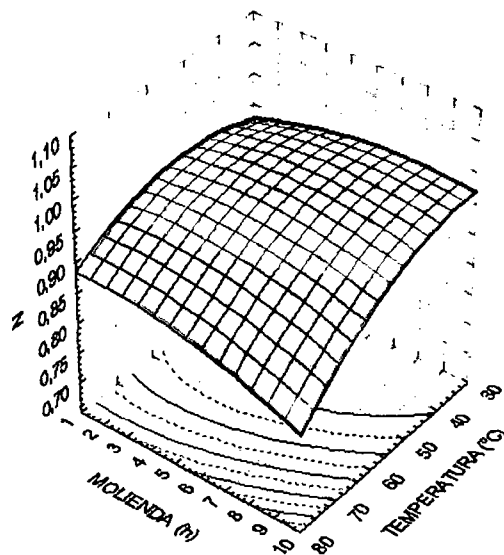
Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel – Bulkley			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.17584	1.35718	0.99972	0.79068	0.76198	0.99751	0.91509	0.36513	3.84502	0.99945
	0.17415	1.27252	0.99959	0.79636	0.72596	0.99717	0.92991	0.33002	3.97772	0.99987
40	0.10063	1.48804	0.99918	0.72833	0.68503	0.99483	0.9013	0.24525	3.55482	0.99947
	0.10334	1.29474	0.99937	0.7460	0.61927	0.99539	0.91433	0.22841	3.36897	0.99973
50	0.06055	1.75482	0.99962	0.54647	1.24167	0.97949	0.83547	0.24042	3.00288	0.99949
	0.06584	1.39957	0.99917	0.68775	0.6034	0.99324	0.88717	0.1838	2.98998	0.99944
60	0.0413	1.76896	0.99902	0.55054	0.94155	0.98632	0.83151	0.18057	2.9182	0.99997
	0.04262	1.60659	0.99956	0.55629	0.89679	0.98819	0.80615	0.21082	2.44933	0.99967
70	0.02713	1.93119	0.99923	0.52919	0.83094	0.99129	0.73668	0.23109	2.37408	0.99927
	0.02863	1.78006	0.99961	0.54698	0.75988	0.99396	0.72027	0.26085	2.02349	0.99963
80	0.01989	1.96635	0.99904	0.46763	0.95577	0.99072	0.68249	0.2534	2.09478	0.99905
	0.02145	1.72531	0.99963	0.47972	0.88763	0.98992	0.7064	0.22517	1.93715	0.99956

**Cuadro11: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a las 10 horas de molienda de la variedad CCN-51.**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel – Bulkley			
	$\eta$	$\tau_0$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau_0$	R <sup>2</sup>
30	0.29698	2.73666	0.99987	0.73868	1.70239	0.99757	0.85887	0.86656	5.28102	0.99989
	0.29767	2.21433	0.99966	0.76369	1.4513	0.99914	0.83212	0.98276	3.14554	0.99991
40	0.20139	1.75935	0.99923	0.78183	0.93405	0.99592	0.9425	0.36199	5.63454	0.99976
	0.18156	1.99031	0.99931	0.75888	0.99025	0.99587	0.91448	0.39416	5.30753	0.99954
50	0.12378	1.82359	0.99973	0.73176	0.82719	0.99195	0.95494	0.22137	5.30203	0.99982
	0.1234	1.5177	0.9994	0.74799	0.72908	0.99551	0.91496	0.27107	3.97594	0.99992
60	0.07845	2.15239	0.9995	0.65624	0.90661	0.99343	0.84975	0.28391	3.9006	0.9996
	0.07697	1.78647	0.99958	0.67687	0.76362	0.99392	0.8669	0.24511	3.50381	0.99977
70	0.05099	2.19021	0.9997	0.59805	0.91293	0.9924	0.80166	0.26561	3.28641	0.99983
	0.05543	1.55704	0.99929	0.65382	0.65305	0.99284	0.85471	0.1957	2.86769	0.99952
80	0.03753	2.14658	0.99967	0.55989	0.90372	0.99093	0.78078	0.2346	3.00963	0.99971
	0.03718	1.85618	0.9997	0.57895	1.29758	0.99065	0.80727	0.19324	2.82604	0.99977

#### 4.5.1.- Ley de Herschel – Bulkley

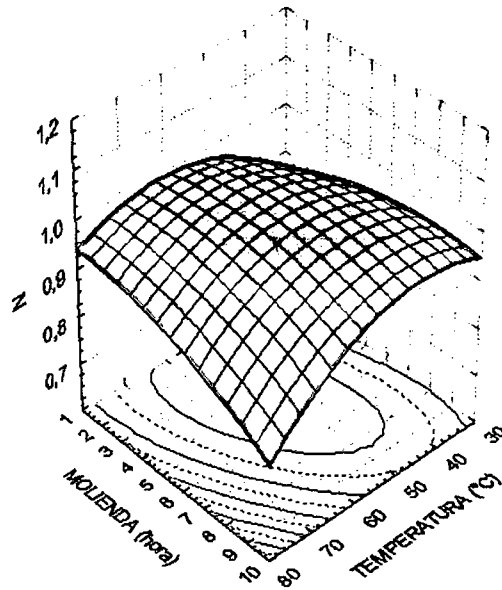
- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en el índice de flujo ( $n$ ) de la ecuación de Herschel – Bulkley es mostrada en la figura N° 61 para licor cacao la variedad Criollo. Del análisis de varianza (anexo E-1), la temperatura influyen significativamente ( $P < 0.05$ ) y el tiempo de molienda no influyen significativamente ( $P > 0.05$ ).



**Figura 61- Superficie de respuesta del índice de flujo de licor de cacao - variedad Criollo**

La figura N° 61 nos muestra el efecto de la variación de  $n$  en función de la temperatura y el tiempo de molienda. De acuerdo a la figura, el efecto de la temperatura sobre  $n$  es significativo alcanzando su máximo valor a una temperatura de 30°C.

- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en el índice de flujo ( $n$ ) de la ecuación de Herschel – Bulkley es mostrada en la figura N° 62 para la variedad CCN-51. Del análisis de varianza (anexo E-2), la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente ( $P < 0.05$ ).

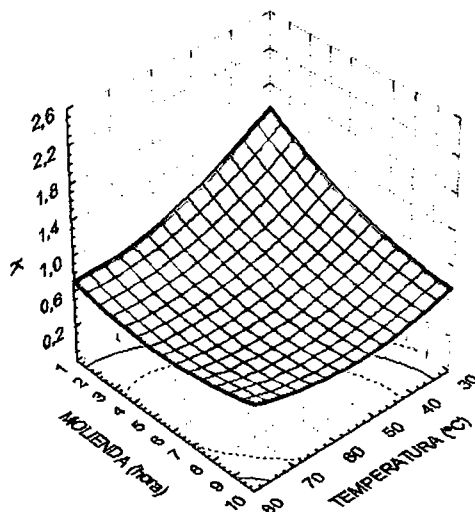


**Figura 62 - Superficie de respuesta del índice de flujo de licor cacao - variedad CCN-51**

En la figura N° 62 se observa la variación de  $n$  con respecto a la variedad CCN-51, donde la temperatura y el tiempo de molienda influyen con este parámetro.

Analizando la figura cuando se tienen tiempos de menor molienda con temperaturas bajas se tiene valores altos de  $n$ , pero al ir avanzando la molienda con temperaturas altas se puede ver valores de  $n$  mas alejado de la unidad, para así ver el comportamiento mas marcado de pseudoplasticidad del fluido. Según **Carbonell et al. (1990)**,  $n$  es la desviación del comportamiento al flujo respecto al newtoniano.

- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en el índice de consistencia ( $k$ ) de la ecuación de Herschel – Bulkley es mostrada en la figura N° 63 para la variedad Criollo. Del análisis de varianza (anexoE-3), la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente ( $P < 0.05$ ).

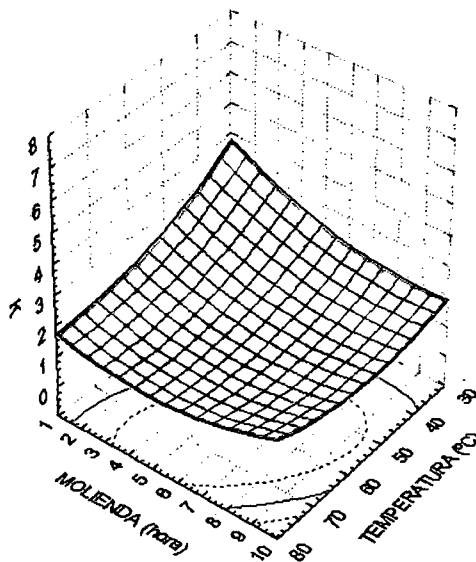


**Figura 63- Superficie de respuesta del índice de consistencia de licor cacao - variedad Criollo**

Por su parte el índice de consistencia  $k$  es afectado considerablemente por la temperatura, el cual desciende conforme la temperatura incrementa. Esto claramente es observado en la figura 63, generalmente esta es la tendencia que presenta la mayoría de los fluidos pseudoplásticos, que la viscosidad desciende conforme aumenta la temperatura. Este efecto es reflejado a través de las variaciones que tiene  $k$ .

El tiempo de molienda también es un parámetro que influye en el índice de consistencia, porque a medida que  $k$  aumenta el fluido se hace más espeso o viscoso. Este parámetro reológico da una idea sobre la consistencia de los varios productos alimentarios (Sherman, 1970).

- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en el índice de consistencia ( $k$ ) de la ecuación de Herschel – Bulkley es mostrada en la figura N° 64 para la variedad CCN-51. Del análisis de varianza (anexo E-4), la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente ( $P < 0.05$ ).

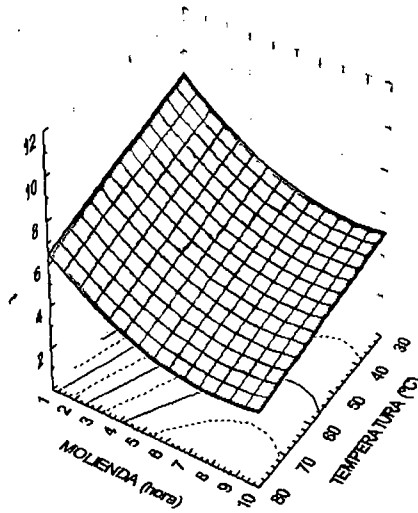


**Figura 64 - Superficie de respuesta del índice de consistencia de licor de cacao - variedad Clones CCN-51**

La consistencia del fluido es drásticamente afectada por el tiempo de molienda como se observa en la figura 64.  $K$  desciende conforme el tiempo de molienda del licor de cacao aumenta, esto se debe a que el licor se va haciendo menos viscoso; y con la ayuda de temperatura altas (60 – 80°C) este índice va disminuyendo.

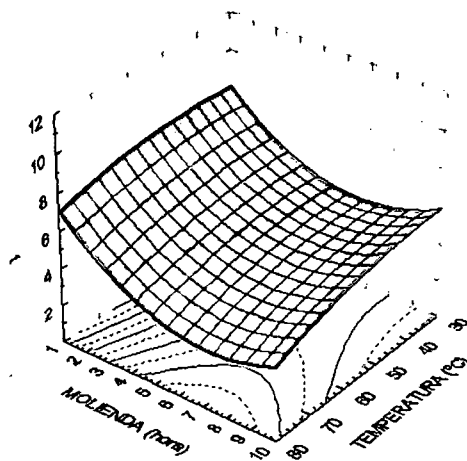
El índice de consistencia, aumenta con el contenido de sólidos y disminuye con el aumento de la temperatura (Oliveros, 1994).

- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en límite de fluencia ( $\tau_0$ ) de la ecuación de Herschel – Bulkley es mostrada en la figura N° 65 para la variedad Criollo. Del análisis de varianza (anexo E-5), el tiempo de molienda influyen significativamente ( $P < 0.05$ ) y temperatura no influyen significativamente ( $P > 0.05$ ).



**Figura 65- Superficie de respuesta del limite de fluencia de licor de cacao - variedad Criollo**

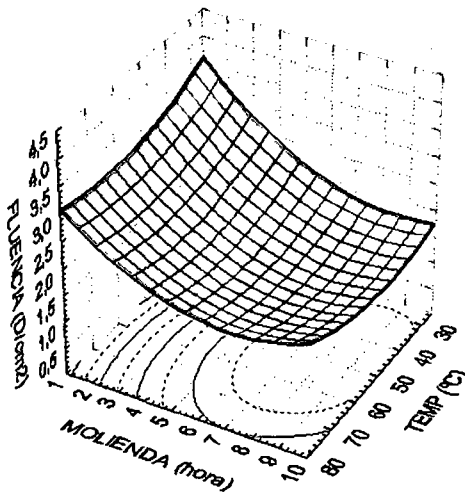
- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en límite de fluencia ( $\tau_0$ ) de la ecuación de Herschel – Bulkley es mostrada en la figura N° 66 para la variedad CCN-51. Del análisis de varianza (anexo E-6), el tiempo de molienda y la temperatura influyen significativamente ( $P < 0.05$ ).



**Figura 66- Superficie de respuesta del limite de fluencia de licor de cacao - variedad CCN-51**

### 5.4.2.- Ley de Casson

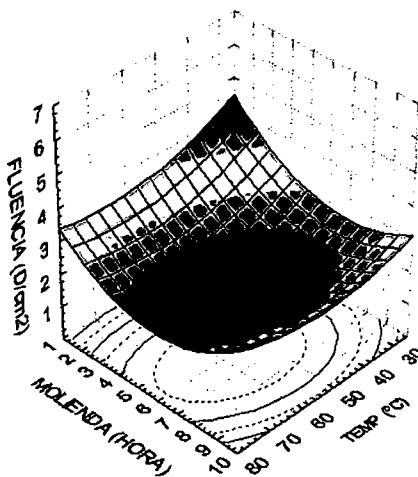
- En la figura N°67 se observa como el límite de fluencia es afectado significativamente por la molienda, ya que a menor tiempo de molienda se obtiene valores alto de fluencia y a mayor tiempo de molienda la fluencia es menor; esto como se ve en la superficie respuesta se da porque el licor mas viscoso necesita menos fuerza para fluir.



**Figura 67 - Superficie de respuesta del limite de fluencia del licor de cacao - variedad Criollo**

Según **Sherman (1970)**, algunos materiales aparentemente no fluyen cuando están sujetos a fuerzas muy bajas pero comienzan a moverse cuando se aplica una cierta cantidad de esfuerzo. Por ejemplo, la estructura de un gel, comienza a agrietarse cuando se excede un esfuerzo de cizalla determinado y el material se torna más fluido. El punto en el cual sucede esto se conoce como limite de fluencia.

- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en límite de fluencia ( $\tau_0$ ) de la ecuación Casson es mostrada en la figura N° 68 para la variedad CCN-51. Del análisis de varianza (anexo F-2), el tiempo de molienda y la temperatura influyen significativamente ( $P < 0.05$ ).

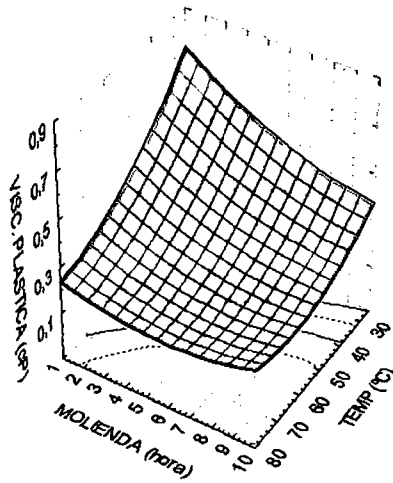


**Figura 68- Superficie de respuesta del limite de fluencia del licor de cacao - variedad CCN-51**

En la figura 68 para la variedad CCN-51, de igual manera se puede observar como la molienda y la temperatura influye en la fluencia, cuando un licor de cacao es menos viscosa necesita más fuerza para poder fluir, si fuera el caso un traslado de tuberías de una área a otra. En el caso de que la muestra este bien viscosa se necesita menos fuerza para que pueda fluir y mucho menos si es a altas temperaturas, ya que la temperatura ayuda a que la fuerza de cohesión entre las partículas sea de menor intensidad.

Desde el punto de vista de **Muñoz (2009)**, los productos con un esfuerzo de fluencia elevado tendrán un grado relativamente alto de inercia, y esto tiene un impacto sobre el tamaño de la bomba requerida para la puesta en marcha.

- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en la viscosidad plástica ( $\eta$ ) de la ecuación Casson es mostrada en la figura N° 69 para la variedad Criollo. Del análisis de varianza (anexo F-3), el tiempo de molienda y la temperatura influyen significativamente ( $P < 0.05$ ).



**Figura 69 - Superficie de respuesta de la Viscosidad Plástica del licor de cacao - Variedad Criollo**

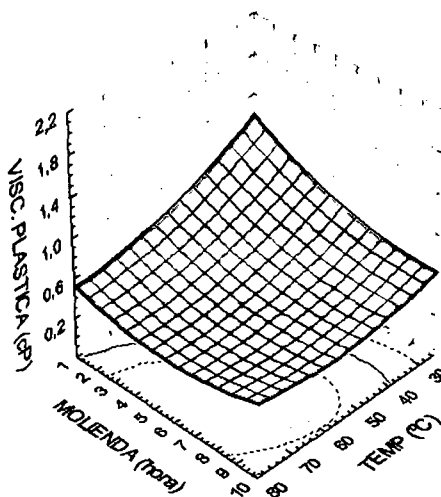
La Figura 69 nos muestra el efecto de la variación de la viscosidad plástica ( $\eta$ ) en función de la temperatura y el tiempo de molienda. De acuerdo a la figura, el efecto de la temperatura sobre  $\eta$  es significativo, ya que se observa que al aumentar la temperatura la viscosidad disminuye por el hecho de que el líquido necesita menos fuerza para mantener constante la fluidez.

En cuanto al efecto a la molienda, se observó que en tiempo de molienda de 1ra a 4ta hora, el valor de  $\eta$  se mantiene constante mientras la temperatura incrementa; en cambios a partir de la 5ta hora para adelante el valor de  $\eta$  es afectado, generalmente disminuyendo mientras la temperatura incrementa.

Con el fin de explicar las propiedades reológicas de la pasta de cacao, es conveniente hacer referencia al trabajo de Kleinert (2006), quien moliendo la pasta de cacao repetidas veces en un refinador de cinco rodillos, demostró claramente que la viscosidad plástica iba reduciéndose gradualmente.

- La influencia de la temperatura y el tiempo de molienda en la viscosidad plástica de la ecuación Cassones mostrada en la figura N° 70 para la variedad Criollo.

Del análisis de varianza (anexo F-4) el tiempo de molienda y la temperatura influyen significativamente ( $P < 0.05$ ).



**Figura 70- Superficie de respuesta de la viscosidad plástica del licor de cacao - variedad CCN-51**

Por su parte en la figura 70 para la variedad CCN-51, la viscosidad plástica es afectado considerablemente por la temperatura, el cuál desciende conforme la temperatura incrementa. Generalmente, esta es la tendencia que presenta la mayoría de los fluidos pseudoplástico; la viscosidad plástica desciende conforme aumenta la temperatura, ya que existe menor esfuerzo para que se mantenga constante el fluido si se quiere trabajarlo en algún tipo de bomba o tubería.

Este efecto también se refleja en el tiempo de molienda, ya que un licor más viscoso necesitara mas fuerza para mantener constante la fluidez para trasladar el líquido por tuberías si fuera el caso.

Un aumento de la viscosidad plástica puede significar un aumento en el porcentaje del fluido, un cambio de la forma de las partículas o una combinación de estos efectos. Cualquier aumento del área superficial total de los sólidos expuestos se reflejará en un aumento de la viscosidad plástica (Pizarro, 2007)

## V.- CONCLUSIONES

- Las propiedades reológicas del licor de cacao durante el proceso de molienda estuvieron influenciados por el tiempo de molienda y temperatura, que se demostró en los análisis estadísticos.
- A medida que se incrementa la temperatura, para los tiempos de molienda, el esfuerzo de corte va disminuyendo, dado que a elevadas temperaturas se rompen enlaces o moléculas que influyen en el fluido mostrando claramente el comportamiento no newtoniano
- La viscosidad del licor de cacao en todos los casos, disminuye conforme se incrementa la velocidad de deformación, por lo que el comportamiento es de un fluido no newtoniano y pseudoplástico.
- La temperatura y el tiempo de molienda si influyen en los parámetros reológicas del licor de cacao, demostrando que este fluido necesita el control de estos durante su molienda, para facilitar el siguiente proceso que es la elaboración de un chocolate con los estándares que el mercado pide.
- El modelo de mayor ajuste fue el de Herschel – Bulkley por obtener un mayor ajuste ( $R^2 > 0.9$ ), y por tener parámetros que reflejan la caracterización del fluido, uno de ellos el índice de flujo que presento valores cercanos a la unidad ( $n < 1$ ), indicándonos que es un fluido pseudoplástico, en comparación de las otras ecuaciones.

## **VI.- RECOMENDACIONES**

- **Mantener un mejor control de la temperatura a nivel constante durante el uso de reómetro, para la determinación de los parámetros reológicos de los diferentes tiempos de molienda analizados.**
- **Realizar las mediciones de viscosidades con mayor número de repeticiones (por triplicado).**
- **Realizar pruebas de análisis sensorial para percibir mejor la fineza del licor de cacao.**
- **Se recomienda el mayor uso por parte de los alumnos de la F.I.A.I. del equipo Reómetro Brookfield DV – III Ultra para diferentes análisis de reología en los alimentos.**

## **VII.- BIBLIOGRAFÍA**

1. ALVARADO J. (2001). Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos. España: Ed. Acribia.
2. BARBOSA G. (2003). Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria, Editorial Acribia S.A., España.
3. BARRENA T. et al. (2009). Mecánica de Fluidos, Ed Thomson – España.
4. BECKETT S. (2008). Fabricación y Utilización Industrial del Chocolate. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España).
5. BOTERO F. et al. (2001). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica (pp.11-44). Zaragoza, Editorial Acribia.
6. BRAUDEAU J. (2009). El Cacao, Primera Edición, Editorial Blume.
7. CABRAL et al. (2002). Química de los alimentos Mecanismos y Teoría. Editorial Acribia, S.A. pp. 117-164.
8. CARBOLELL et al (1990). Industrial Rheology. Academic Press. New York.
9. CASTILLO R. (2009). Influencia de las Características del Cacao en Grano (THEOBROMA CACAO) como Materia Prima sobre la Calidad del Chocolate de Mesa- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
10. CHEVALLEY O. (2006). Rheological Behavior and Colour Changes of Ginger Paste During Storage. International Journal of Food Science and Technology, v.39, p. 325-330, 2004.
11. CHIRIBOGA H. (2010). Fundamentos y Aplicaciones de la Mecánica de Fluidos. Ed. McGraw Hill, México.
12. DOMINGUEZ R. (2003). Introducción a la Mecánica de Fluidos. Bogotá. McGraw Hill Uniandes, 1991. 346 p
13. EGAWA T. (2007). Determination of effective shear rates in rotational viscometers with complex geometries. Journal of Texture Studies 15: 327-335.

15. GUERVARA E. (2003). Introducción a la mecánica de fluidos Ed. McGraw Hill, Mexico.
16. GUTIERREZ S. (2002). Dinámica de los fluidos con aplicación en ingeniería Ed. Trillas.
17. HERNÁNDEZ T. (2004) Cacao: sistemas de producción en la Amazonía peruana. Tingo María - Perú.
18. IBARZ O. (2000). Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria. España. Editorial Acribia. 283 p: 143-148.
19. JIMÉNEZ M. (2006). Reología de Fluidos Newtonianos y No Newtonianos. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España).
20. KLEINERT R. (2006) Rheological Methods in Food Process Engineering, USA. Ed. Pergamon Press. 428 p.
21. LANNES R. (2002). Estudo das propriedades fisico-químicas e de textura de chocolate, 1997. 175f. Tese (Doutorado em Tecnologia Bioquímico-Farmacéutica) – Faculdade de Ciências Farmacéuticas, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1997.
22. LEES R. (1998). Análisis de los Alimentos, Segunda Edición, Editorial Acribia, España.
23. LEVENSPIEL, O. (2003). Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor, edición en español, Ed. Reverté, España.
24. LEWIS M. (1993). Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado. España. Editorial Acribia. 494 p.
25. MINAG. (2010). El cultivo del cacao en la amazonia peruana. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú.
26. MORENO D. (2010). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Zaragoza: Acribia. pp. 47-80.

27. MULLER A. (1979). Rheological properties of fluids foods. En Engineering properties of foods. (1986). Rao, M.A. y Rizvi, S.H., Ed. Marcel Dekker, Inc., New York, 1-48.
28. MULLER G.(1973). Introducción a la Reología de los Alimentos .Ed. Acribia. Zaragoza, España.
29. MUÑOZ F. (2009). Reología. Memorias del curso Reología y su Aplicación al Proceso de Alimentos. U.N.A.M. Mexico, D.F.
30. OLIVEROS M. (1994). Complete rheological characterization of time-dependent food products. J. Texture Stud. 5: 329-338.
31. OYUELA B. (2005) Reometría de los Alimentos. Memorias del curso Reología y su Aplicación al Proceso de Alimentos. U.N.A.M. México, D.
32. PEZO R. (2008) El impacto de la producción y transformación del cacao en el Perú. Lima.
33. PINO G. (2005). Elementos de Mecánica de fluidos. Ed. Continental. Editorial Acribia. 110 p.
34. PIZARRO E. (2007). Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications. Maryland: Aspen Publishers Inc., 1999. 433.
35. RAO et al. (1984). Rheology of fluid foods. Food Technol. 32(7): 77-82.
36. ROCHE L., 2006, La industria alimentaria. Proceso de elaboración del chocolate, <http://www.-ice.upc.es/documents/eso/aliments/html>, (Agosto, 2008).
37. ROLLIN E (2000), Elaboración de Chocolates y Bombones, Segunda Edición, Editorial Síntesis, Barcelona.
38. RODRIGUEZ M., 2003, La seguridad del chocolate. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y consumo/2003.php>, (Diciembre, 2008)
39. ROUDOT A. (2004). Reología y análisis de la textura de los alimentos. 1era edición. España. Editorial Acribia. 210 p.

## VIII.- ANEXOS

**ANEXOS A:** Figura del reómetro Brookfield DV – III Ultra, con los datos obtenidos en la prueba de reología para la variedad Criollo y Clones CCN-51 a partir del dispositivo RHEOCALC

Tabla Datos Test									
D:\DOCUMENTS\LICOR DE CACAO I11P8-4.D8									
Tipo: RV		Musillo: ULA							
Regs. 1 de 99									
cP	RPM	%	D/cm <sup>2</sup>	1/seg	°C	°C	MM:SS.T	DD/MM/AAAA (hh:mm)	
Viscosidad	Velocidad	% Par	Esf.Cortante	G.Velocidad	Temp.	Bath	Intervalo	Fecha/Hor	
80,00	2,00	2,5	1,96	2,45	70,5	EEEE	00:00:21,2	26/10/2012 1	
48,00	4,00	3,0	2,35	4,89	70,3	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
36,27	6,00	3,4	2,66	7,34	70,1	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
31,20	8,00	3,9	3,05	9,78	69,9	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
26,88	10,00	4,2	3,29	12,23	70,0	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
24,53	12,00	4,6	3,60	14,68	70,1	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
22,86	14,00	5,0	3,91	17,12	70,0	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
20,80	16,00	5,2	4,07	19,57	70,0	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
19,56	18,00	5,5	4,30	22,01	70,0	EEEE	00:00:10,1	26/10/2012 1	
18,56	20,00	5,8	4,54	24,46	69,9	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
17,75	22,00	6,1	4,77	26,91	69,9	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
17,07	24,00	6,4	5,01	29,35	70,0	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
16,25	26,00	6,6	5,17	31,80	70,1	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
15,77	28,00	6,9	5,40	34,24	70,2	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
15,36	30,00	7,2	5,64	36,69	70,3	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
14,80	32,00	7,4	5,79	39,14	70,3	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
14,31	34,00	7,6	5,95	41,58	70,2	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
13,87	36,00	7,8	6,11	44,03	70,3	EEEE	00:00:10,1	26/10/2012 1	
13,81	38,00	8,2	6,42	46,47	70,3	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
13,44	40,00	8,4	6,57	48,92	70,4	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
13,10	42,00	8,6	6,73	51,37	70,5	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
12,95	44,00	8,9	6,97	53,81	70,5	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
12,80	46,00	9,2	7,20	56,26	70,4	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
12,53	48,00	9,4	7,36	58,70	70,3	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
12,29	50,00	9,6	7,51	61,15	70,3	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
12,06	52,00	9,8	7,67	63,60	70,2	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
11,85	54,00	10,0	7,83	66,04	70,0	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
11,77	56,00	10,3	8,06	68,49	70,0	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
11,59	58,00	10,5	8,22	70,93	69,9	EEEE	00:00:10,1	26/10/2012 1	
11,52	60,00	10,8	8,45	73,38	69,8	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
11,35	62,00	11,0	8,61	75,83	69,8	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
11,20	64,00	11,2	8,77	78,27	69,8	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
11,05	66,00	11,4	8,92	80,72	69,7	EEEE	00:00:10,1	26/10/2012 1	
11,01	68,00	11,7	9,16	83,16	69,5	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
10,88	70,00	11,9	9,31	85,61	69,5	EEEE	00:00:10,1	26/10/2012 1	
10,76	72,00	12,1	9,47	88,06	69,8	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
10,64	74,00	12,3	9,63	90,50	70,2	EEEE	00:00:10,1	26/10/2012 1	
10,53	76,00	12,5	9,78	92,95	70,2	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	
10,42	78,00	12,7	9,94	95,39	70,1	EEEE	00:00:10,1	26/10/2012 1	
10,32	80,00	12,9	10,10	97,84	70,0	EEEE	00:00:10,2	26/10/2012 1	

**ANEXOS B: Cuadro de Datos de los ajuste de los 3 modelos reológicos, obtenidos con el Microcal Origin5.0**

**Cuadro B-1: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 1 hora de molienda de la variedad criollo**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.82978	3.76019	0.99928	0.6983	4.53971	0.99662	0.84525	2.32314	6.84144	0.99936
	0.77934	4.14057	0.99757	0.68363	4.69124	0.99174	0.9142	1.65253	9.75422	0.99838
40	0.48499	3.16586	0.99934	0.72247	2.70446	0.99496	0.90688	1.06203	7.72716	0.99966
	0.48327	2.26796	0.99893	0.76649	2.08377	0.99541	0.93803	0.86444	6.89275	0.99947
50	0.31797	1.94872	0.9982	0.78423	1.34925	0.99393	0.98586	0.44335	7.46423	0.99958
	0.29356	2.56356	0.99926	0.74766	1.59514	0.99688	0.87219	0.7907	5.3814	0.9993
60	0.23576	1.44491	0.99634	0.81818	0.85317	0.99237	1.02896	0.24863	7.42337	0.9985
	0.21095	2.05744	0.99929	0.77105	1.05604	0.99591	0.93003	0.4127	6.05514	0.99973
70	0.13851	2.75835	0.99895	0.69544	1.19988	0.99319	0.89365	0.36868	6.09264	0.99924
	0.15166	2.08214	0.99909	0.73729	0.96959	0.99442	0.92302	0.32272	5.51377	0.99964
80	0.10735	2.72096	0.99872	0.66718	1.14672	0.99456	0.88862	0.30588	5.68159	0.99912
	0.1119	2.81496	0.99942	0.66736	1.19178	0.99322	0.86647	0.36204	5.46493	0.99963

**Cuadro B-2: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 2 horas de molienda de la variedad criollo**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.51975	3.93151	0.99509	0.69142	3.40321	0.98968	0.89713	1.22744	8.82298	0.99523
	0.57419	2.2858	0.99918	0.76319	2.41301	0.99577	0.93234	1.04627	6.7424	0.99956
40	0.33689	2.76208	0.99949	0.73919	1.86704	0.99583	0.90028	0.77524	6.70093	0.99964
	0.35964	2.08494	0.99926	0.77462	1.57406	0.996	0.93474	0.66022	6.35155	0.99966
50	0.23039	2.10737	0.99839	0.77577	1.11036	0.99406	0.96957	0.35764	7.36744	0.99947
	0.23994	1.81299	0.99865	0.79064	1.03406	0.99505	0.96626	0.37199	6.60414	0.99944
60	0.15411	2.20289	0.998	0.73471	1.00748	0.99218	0.95302	0.27752	6.41913	0.99907
	0.15039	2.2115	0.99913	0.72857	1.02116	0.99479	0.9002	0.36859	5.25892	0.99927
70	0.09973	2.61034	0.99908	0.66228	1.1024	0.99259	0.86608	0.3256	5.0366	0.99917
	0.09862	2.51729	0.99902	0.66497	1.0676	0.99293	0.86063	0.33091	4.77562	0.99901
80	0.07378	2.55636	0.99859	0.62805	1.05659	0.98962	0.87117	0.24588	4.83281	0.9999
	0.06803	3.00336	0.99907	0.59365	1.25747	0.99226	0.78793	0.38626	4.29373	0.9987

**Cuadro B-3: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 3 horas de molienda de la variedad criollo**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.43504	2.48166	0.99833	0.75462	2.06248	0.99489	0.91689	0.88309	6.68284	0.99861
	0.46389	1.79952	0.99931	0.79175	1.73179	0.99646	0.94696	0.77258	6.10753	0.9998
40	0.28052	1.99085	0.99937	0.77969	1.25591	0.99625	0.93463	0.52084	6.12623	0.99978
	0.3021	1.48697	0.99923	0.81043	1.09043	0.99657	0.96136	0.4659	5.72677	0.99984
50	0.19532	1.50831	0.99839	0.79536	0.82638	0.99458	0.98167	0.27656	5.92984	0.99951
	0.18782	1.4991	0.99792	0.79314	0.80851	0.99374	0.99239	0.25104	6.05968	0.99928
60	0.10129	3.05584	0.99721	0.63924	1.31324	0.99708	0.72371	0.7837	2.68366	0.99847
	0.12394	1.69485	0.99895	0.73768	0.79006	0.99424	0.92427	0.2617	4.51261	0.99947
70	0.07992	2.22566	0.99929	0.65471	0.93484	0.99254	0.86173	0.27046	4.20216	0.99939
	0.08004	2.08771	0.99921	0.66277	0.88166	0.99271	0.86694	0.25987	4.04205	0.99932
80	0.05875	2.18495	0.99942	0.61789	0.90637	0.99149	0.83737	0.24149	3.70952	0.99947
	0.05679	2.28048	0.99986	0.60631	0.9532	0.99374	0.79096	0.31089	3.28583	0.99966

**Cuadro B-4: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 4 horas de molienda de la variedad criollo**

T <sup>o</sup>	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.27703	1.93764	0.99981	0.77846	1.24605	0.999	0.8538	0.80703	3.32641	0.99992
	0.30012	0.95492	0.99936	0.84896	0.842	0.99756	0.97758	0.40493	4.75682	0.99992
40	0.17064	1.71315	0.99931	0.76801	0.87257	0.99588	0.92657	0.34177	4.92579	0.99966
	0.19489	0.79848	0.99836	0.84595	0.57612	0.99597	1.00282	0.22994	4.41463	0.99944
50	0.10818	1.31408	0.99898	0.74863	0.63535	0.9952	0.91111	0.24263	3.38632	0.99918
	0.11822	1.08246	0.99938	0.77652	0.56848	0.99647	0.92307	0.23893	3.12269	0.99982
60	0.07578	1.36315	0.99748	0.70992	0.59407	0.99403	0.94886	0.14447	3.67916	0.99882
	0.06914	1.50715	0.99926	0.68384	0.65076	0.9939	0.86842	0.21605	2.99106	0.99929
70	0.04731	1.58162	0.99969	0.6316	0.65803	0.99282	0.83498	0.19331	2.68375	0.99982
	0.04999	1.3042	0.99968	0.66249	0.55146	0.99387	0.85223	0.17677	2.39468	0.99983
80	0.03454	1.55014	0.9997	0.59316	0.64368	0.99159	0.80942	0.17347	2.38477	0.9998
	0.03542	1.41375	0.99963	0.60839	0.58705	0.9925	0.81141	0.17177	2.1959	0.99972

**Cuadro B-5: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 5 horas de molienda de la variedad criollo**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.36423	2.76511	0.99991	0.7387	1.98522	0.99813	0.84591	1.10772	4.87357	0.99992
	0.37102	1.44303	0.99918	0.8138	1.26191	0.99651	0.96915	0.54271	5.85894	0.99992
40	0.21322	2.74266	0.99965	0.73952	1.32731	0.99629	0.88745	0.55271	6.23446	0.9997
	0.25272	1.15513	0.99818	0.83471	0.80272	0.99534	1.00618	0.29675	6.04972	0.99941
50	0.13476	2.452	0.99938	0.70552	1.08357	0.99427	0.89097	0.35929	5.43862	0.99965
	0.1514	1.37226	0.99907	0.77934	0.71618	0.99544	0.95126	0.25982	4.53141	0.99988
60	0.09035	2.19731	0.99933	0.67164	0.93256	0.99311	0.87273	0.2803	4.37909	0.9996
	0.09654	1.72514	0.99904	0.70883	0.75977	0.9933	0.91234	0.22685	4.1561	0.99969
70	0.06118	2.23296	0.99911	0.62104	0.92331	0.99401	0.85618	0.22462	4.01952	0.9994
	0.06075	2.04930	0.99949	0.62984	0.85498	0.99302	0.82507	0.26344	3.35528	0.99946
80	0.04268	2.11565	0.99954	0.58018	0.8798	0.98991	0.81838	0.20759	3.32729	0.99965
	0.04425	2.09446	0.99983	0.5858	1.47279	0.99196	0.79661	0.24217	3.08834	0.99988

**Cuadro B-6: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 6 horas de molienda de la variedad criollo**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.28474	2.20187	0.99919	0.76166	1.41502	0.9994	0.80527	1.10102	2.05873	0.99972
	0.33842	0.61159	0.99937	0.87999	0.76121	0.99807	0.99575	0.39797	4.1475	0.99994
40	0.19015	1.31915	0.99974	0.79919	0.77434	0.99788	0.91148	0.39869	3.69202	0.99981
	0.20436	0.78641	0.99947	0.8461	0.59862	0.99801	0.95419	0.31711	3.3298	0.99973
50	0.13066	0.912	0.99905	0.80225	0.52429	0.99611	0.95856	0.20894	3.3543	0.99968
	0.13424	0.70294	0.99933	0.82529	0.45704	0.99708	0.96364	0.20263	2.89934	0.9999
60	0.08755	0.94337	0.99915	0.76205	0.46816	0.99524	0.93489	0.16858	2.77308	0.99974
	0.08263	0.79268	0.99891	0.77296	0.40829	0.99538	0.93717	0.15484	2.41949	0.9994
70	0.05446	1.17889	0.9994	0.68501	0.50861	0.99392	0.87291	0.16561	2.38308	0.99953
	0.05645	0.97426	0.99978	0.70959	0.43881	0.99616	0.85924	0.17952	1.88583	0.99982
80	0.04137	0.99278	0.9998	0.67169	0.42531	0.99502	0.84125	0.15379	1.75041	0.99981
	0.04309	0.88763	0.99956	0.69083	0.38553	0.99443	0.8728	0.13008	1.8038	0.99976

**Cuadro B-7: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkey, obtenidos para el licor de cacao a 7 horas de molienda de la variedad criollo**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.2889	1.17187	0.99989	0.82665	0.93699	0.99934	0.88921	0.65319	2.5975	0.99995
	0.30391	0.63146	0.99953	0.87735	0.70408	0.99834	0.98344	0.38387	3.86969	0.99994
40	0.18281	1.16008	0.99915	0.80995	0.69405	0.99648	0.95831	0.28993	4.38111	0.99968
	0.19857	0.56841	0.99867	0.86855	0.4996	0.99696	1.00015	0.23136	3.60573	0.99936
50	0.12129	0.87927	0.99885	0.79964	0.49649	0.9956	0.96639	0.18619	3.31354	0.99962
	0.12692	0.63748	0.99929	0.82868	0.422	0.99706	0.96782	0.18632	2.72604	0.99989
60	0.07981	0.95709	0.99897	0.75111	0.46156	0.99483	0.92651	0.16349	2.64829	0.99948
	0.08209	0.80044	0.99929	0.77124	0.41053	0.99585	0.93241	0.15841	2.38231	0.99977
70	0.05272	0.81762	0.99879	0.72205	0.37475	0.99482	0.88251	0.14423	1.78398	0.99883
	0.05355	0.85164	0.99954	0.71952	0.3879	0.99547	0.88216	0.14731	1.85096	0.99964
80	0.03901	0.90625	0.99982	0.67565	0.38953	0.99523	0.84225	0.14341	1.60637	0.99989
	0.03846	0.96621	0.99976	0.66645	0.41133	0.99457	0.84387	0.14188	1.71998	0.9998

**Cuadro B-8: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 8 horas de molienda de la variedad criollo**

T°	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.272	0.53696	0.99975	0.88595	0.60136	0.99889	0.97161	0.36429	3.16226	0.99995
	0.2684	0.55452	0.99961	0.88435	0.60098	0.9986	0.97968	0.34419	3.45522	0.99989
40	0.15649	1.21608	0.9996	0.79014	0.68083	0.99723	0.91824	0.31939	3.50273	0.99924
	0.17313	0.58804	0.99949	0.85543	0.47568	0.998	0.96899	0.24426	2.87159	0.99988
50	0.10864	0.73245	0.99865	0.80634	0.42439	0.9954	0.97652	0.15616	2.95588	0.99952
	0.109	0.67799	0.99907	0.81119	0.40986	0.99657	0.9532	0.17766	2.50814	0.99954
60	0.06595	0.94817	0.99915	0.73136	0.43921	0.99481	0.90499	0.15673	2.31104	0.99942
	0.07309	0.62064	0.99893	0.78529	0.33127	0.99542	0.95526	0.12168	2.12261	0.99967
70	0.05053	0.7092	0.99935	0.73466	0.32904	0.99491	0.91308	0.11419	1.79774	0.99987
	0.07309	0.62064	0.99893	0.7282	0.33703	0.9957	0.8904	0.1287	1.66128	0.99985
80	0.03484	0.86357	0.99954	0.66865	0.36707	0.9939	0.85615	0.11939	1.61582	0.99966
	0.03566	0.80043	0.99981	0.67981	0.3457	0.99527	0.84537	0.12802	1.43967	0.99982

**Cuadro B-9: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 9 horas de molienda de la variedad criollo**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.27402	0.6816	0.99929	0.87	0.66186	0.99782	0.99455	0.32746	4.34752	0.9999
	0.28411	0.47532	0.99939	0.89488	0.59029	0.99832	1.00247	0.31646	3.80956	0.99994
40	0.17494	0.61199	0.99928	0.85469	0.48428	0.85469	0.98242	0.22903	3.227	0.99986
	0.17892	0.51012	0.9995	0.86582	0.4563	0.99835	0.9659	0.25358	2.57473	0.99984
50	0.11146	0.67987	0.9988	0.81502	0.40946	0.99576	0.98275	0.153	2.92624	0.9998
	0.12298	0.4977	0.99758	0.84945	0.35646	0.84945	1.03677	0.11942	3.20216	0.9994
60	0.06749	0.97009	0.99972	0.7301	0.45234	0.99624	0.88039	0.18492	2.11129	0.99985
	0.06737	0.87855	0.99948	0.74177	0.4162	0.99551	0.90905	0.15432	2.21796	0.99985
70	0.05034	0.77054	0.99946	0.7244	0.35248	0.99512	0.89587	0.12722	1.78893	0.99971
	0.04981	0.87757	0.99968	0.70831	0.39173	0.99548	0.87279	0.14685	1.81095	0.99988
80	0.03484	1.13055	0.9998	0.63467	0.47266	0.99375	0.823	0.15184	1.83858	0.9998
	0.03402	1.14908	0.99986	0.62888	0.48139	0.99451	0.80338	0.34377	1.72833	0.99981

**Cuadro B-10: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 1 hora de molienda de la variedad CCN-51**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	1.09283	4.68368	0.99696	0.66626	6.49608	0.99975	0.65967	6.689	6.84144	0.99976
	2.02026	1.4424	0.99476	0.80478	5.14572	0.99543	0.80623	5.1171	9.75422	0.99543
40	0.5485	3.2745	0.99961	0.71683	3.0491	0.99614	0.87538	1.38804	6.93738	0.99963
	0.54756	5.97822	0.998	0.62258	5.20651	0.99375	0.78983	2.29824	8.55258	0.99751
50	0.37221	2.11969	0.99893	0.7728	1.6345	0.99512	0.9527	0.62232	6.93445	0.99963
	0.3834	3.65079	0.99889	0.7036	2.56823	0.99421	0.88507	0.98155	7.93234	0.99889
60	0.26937	1.94326	0.99858	0.78417	1.18461	0.99462	0.97171	0.40694	7.06937	0.99965
	0.28118	3.12242	0.99891	0.72436	1.80166	0.99393	0.91705	0.61232	7.89711	0.99935
70	0.20987	1.97458	0.99876	0.77618	1.0162	0.9948	0.95738	0.34931	6.60913	0.9996
	0.21041	3.05832	0.99894	0.72482	1.44922	0.99416	0.90825	0.49267	7.47066	0.9992
80	0.17212	2.72845	0.99952	0.72003	1.24257	0.99533	0.88596	0.46296	6.03434	0.99963
	0.17643	3.72621	0.99916	0.68751	1.61616	0.9938	0.87268	0.53518	7.54265	0.99915

**Cuadro B-11: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 2 horas de molienda de la variedad CCN-51**

T°	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.62831	4.05764	0.99905	0.68718	3.98727	0.99898	0.75849	2.8082	3.81154	0.99975
	0.7367	2.88819	0.99968	0.73197	3.4597	0.99877	0.81799	2.29899	4.07766	0.99979
40	0.37558	1.64488	0.9993	0.79684	1.40815	0.99714	0.92367	0.70904	4.98292	0.99946
	0.37927	2.22759	0.99994	0.76447	1.74112	0.99835	0.86714	0.99806	4.48382	0.99996
50	0.27993	0.98582	0.99757	0.84942	0.79468	0.99463	1.03916	0.26961	6.40201	0.99941
	0.2704	1.007	0.99908	0.84568	0.7889	0.99694	0.99029	0.3421	5.25923	0.99993
60	0.21477	0.86461	0.99757	0.85034	0.61923	0.99461	1.04163	0.20272	5.69004	0.9996
	0.19811	0.95564	0.99901	0.83191	0.64407	0.99681	0.97107	0.28441	4.21563	0.99963
70	0.14213	1.30992	0.99866	0.77854	0.67723	0.99462	0.96426	0.22685	4.53613	0.99965
	0.13601	1.39472	0.99909	0.76733	0.70089	0.99521	0.94214	0.24965	4.28346	0.99983
80	0.10487	1.55274	0.99779	0.7319	0.70112	0.99142	0.96502	0.17714	4.64932	0.99928
	0.11069	1.55391	0.99894	0.73589	0.71632	0.99388	0.93306	0.22295	4.25556	0.99981

**Cuadro B-12: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkey, obtenidos para el licor de cacao a 3 horas de molienda de la variedad CCN-51**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.45806	1.76023	0.99977	0.79023	1.71994	0.99836	0.88877	1.02501	4.14918	0.99978
	0.42733	3.63749	0.99914	0.69993	2.81501	0.99781	0.79265	1.72821	4.56022	0.9991
40	0.31755	1.14347	0.99736	0.83692	0.95953	0.99437	1.02066	0.34448	6.42864	0.99903
	0.30821	1.78224	0.99876	0.78992	1.26076	0.99578	0.94316	0.5362	5.87241	0.99909
50	0.22577	0.64705	0.99482	0.8758	0.54731	0.99156	1.08991	0.15782	6.07436	0.99764
	0.21759	1.2527	0.99773	0.82184	0.7651	0.99421	1.01459	0.24761	6.2751	0.99929
60	0.12948	1.43038	0.9969	0.75776	0.71141	0.99393	0.90162	0.30301	3.57727	0.99724
	0.13538	1.57227	0.9962	0.75934	0.74549	0.98985	1.01238	0.16887	5.85273	0.99855
70	0.08324	1.85525	0.99629	0.68472	0.78456	0.98771	0.94972	0.16334	4.72668	0.99762
	0.08444	1.75515	0.99809	0.69011	0.76007	0.99202	0.89333	0.22672	3.84268	0.99821
80	0.06413	1.77239	0.9983	0.65661	0.74126	0.99041	0.8893	0.18476	3.65475	0.9987
	0.0634	1.81492	0.99887	0.6499	0.76617	0.99283	0.83992	0.24477	3.15989	0.99857

**Cuadro B-13: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkey, obtenidos para el licor de cacao a 4 horas de molienda de la variedad CCN-51**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.41672	1.99715	0.99983	0.77632	1.73833	0.99865	0.86656	1.07299	3.93695	0.99989
	0.41235	1.69638	0.99977	0.79169	1.56259	0.99921	0.85864	1.08985	2.91946	0.9999
40	0.28284	1.27015	0.99792	0.82634	0.9321	0.99484	1.00297	0.34169	6.27134	0.99906
	0.24947	1.36999	0.99859	0.81701	0.89115	0.9959	0.96839	0.36967	5.57903	0.99912
50	0.18702	1.06542	0.9987	0.82047	0.66118	0.99582	0.98417	0.25296	4.7316	0.99966
	0.1805	0.711	0.99904	0.84761	0.52624	0.99694	0.99072	0.22748	3.7576	0.99986
60	0.12024	1.31751	0.99834	0.76219	0.64472	0.99356	0.9635	0.19685	4.3081	0.99943
	0.10769	1.08104	0.99861	0.76959	0.54623	0.99468	0.94737	0.19131	3.41208	0.9994
70	0.08349	1.04563	0.99914	0.74642	0.49917	0.99493	0.92189	0.17664	2.81026	0.99957
	0.07711	0.9251	0.99971	0.74865	0.45164	0.99675	0.88793	0.19743	2.12693	0.99983
80	0.05262	1.61646	0.99956	0.642	0.67621	0.99318	0.83812	0.20786	2.78667	0.99961
	0.05559	0.89552	0.99941	0.71821	0.40665	0.99523	0.88357	0.15196	1.95608	0.99952

**Cuadro B-14: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 5 horas de molienda de la variedad CCN-51**

T <sup>o</sup>	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.31223	1.49756	0.99975	0.80543	1.14854	0.99815	0.91028	0.63702	4.19156	0.99979
	0.32739	1.28743	0.99994	0.81938	1.09096	0.99911	0.89432	0.71556	3.10312	0.99997
40	0.21179	0.87219	0.99876	0.84501	0.62955	0.99648	0.9954	0.26083	4.63842	0.99969
	0.21293	1.01896	0.99935	0.83169	0.6922	0.99729	0.96261	0.32072	4.28578	0.99976
50	0.13463	0.86679	0.99819	0.81179	0.50753	0.99465	0.99814	0.17017	3.8941	0.99952
	0.13944	0.91555	0.99933	0.8068	0.54103	0.99672	0.95183	0.2303	3.31409	0.99984
60	0.08833	0.8523	0.99846	0.77381	0.43506	0.99431	0.95939	0.14579	2.85155	0.99927
	0.08572	1.09028	0.99891	0.74434	0.51977	0.99492	0.91256	0.19179	2.80672	0.99924
70	0.05717	1.2121	0.99944	0.68723	0.52499	0.99415	0.87138	0.17483	2.44088	0.99953
	0.05846	1.16447	0.99946	0.69241	0.51438	0.99644	0.82756	0.22854	1.90881	0.99959
80	0.04166	1.22074	0.99985	0.64599	0.51722	0.99536	0.80514	0.19794	1.83577	0.99967
	0.03798	1.20842	0.9994	0.63645	0.50750	0.99397	0.813	0.17486	1.88855	0.99927

**Cuadro B-15: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 6 horas de molienda de la variedad CCN-51**

T°	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.28169	1.44193	0.99943	0.80894	1.03259	0.99768	0.91861	0.55163	4.30	0.99945
	0.31125	1.39708	0.99993	0.81151	1.10119	0.99916	0.88266	0.73532	2.99386	0.99994
40	0.19193	0.81414	0.99847	0.84398	0.57586	0.9959	1.00822	0.22022	4.54502	0.99967
	0.18843	1.33652	0.99943	0.79937	0.76949	0.99686	0.93874	0.33833	4.4148	0.99973
50	0.11551	1.1359	0.99933	0.76981	0.58285	0.99611	0.92294	0.23565	3.22486	0.99969
	0.13035	0.80719	0.99875	0.81344	0.48414	0.99572	0.97884	0.18329	3.39274	0.99963
60	0.07473	1.10997	0.99877	0.72915	0.50705	0.99363	0.92454	0.15935	2.90454	0.99937
	0.08499	0.90142	0.99908	0.76373	0.44917	0.99521	0.93663	0.16171	2.68063	0.99972
70	0.05699	1.04146	0.99873	0.70614	0.4573	0.9928	0.91301	0.13387	2.50213	0.99929
	0.05717	0.99648	0.99969	0.70898	0.44686	0.99575	0.86675	0.17428	2.00055	0.99978
80	0.04173	0.93227	0.99959	0.68148	0.40019	0.99421	0.86709	0.13191	1.8373	0.99986
	0.0424	0.91634	0.99948	0.68552	0.39476	0.99394	0.87554	0.12694	1.87194	0.99973

**Cuadro B-16: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 7 horas de molienda de la variedad CCN-51**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.27968	1.29277	0.99971	0.81977	0.95707	0.99824	0.92126	0.53396	4.0026	0.99978
	0.28285	1.08369	0.99995	0.8336	0.87976	0.99937	0.89631	0.61169	2.58048	0.99998
40	0.18771	0.7497	0.9988	0.84699	0.55003	0.99659	0.99466	0.23157	4.01951	0.99967
	0.1805	0.93528	0.99944	0.82541	0.61318	0.99732	0.95647	0.2837	3.70699	0.99982
50	0.12007	0.82568	0.99877	0.80481	0.47433	0.99551	0.97555	0.17388	3.29966	0.99972
	0.11152	0.96956	0.99927	0.78153	0.51755	0.99622	0.93255	0.21218	2.9619	0.99964
60	0.07376	1.12374	0.99934	0.72498	0.51434	0.99488	0.89954	0.18237	2.65111	0.99956
	0.08195	0.60644	0.99936	0.79557	0.34376	0.99682	0.9335	0.15231	1.92998	0.99969
70	0.05048	1.17301	0.99959	0.6757	0.50403	0.99453	0.85163	0.17574	2.16412	0.99954
	0.0511	0.9529	0.99956	0.701	0.42308	0.99549	0.85932	0.1643	1.83938	0.99953
80	0.03486	1.28504	0.99896	0.61549	0.54303	0.9964	0.74178	0.25114	1.43442	0.99939
	0.0356	0.98195	0.9998	0.6545	0.41573	0.99464	0.82857	0.14592	1.63611	0.99972

**Cuadro B-17: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 8 horas de molienda de la variedad CCN-51**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.2566	1.19975	0.99958	0.82722	0.84949	0.99798	0.93314	0.45767	4.11119	0.99963
	0.2642	1.1838	0.99997	0.82604	0.87426	0.99934	0.89034	0.59996	2.66625	0.99999
40	0.17369	0.59006	0.99869	0.85884	0.46894	0.99657	1.00934	0.19447	3.6534	0.99971
	0.16388	1.05077	0.99962	0.80736	0.63153	0.99741	0.9353	0.29701	3.48068	0.99985
50	0.09921	1.03712	0.99923	0.76437	0.52105	0.9956	0.92839	0.19759	2.9815	0.99964
	0.11079	0.77443	0.99917	0.80188	0.44552	0.99629	0.9553	0.18055	2.8016	0.99974
60	0.06702	1.02579	0.99896	0.72513	0.46749	0.9941	0.91092	0.15526	2.53262	0.99933
	0.07202	0.88842	0.99938	0.7477	0.42641	0.99541	0.91667	0.15673	2.34278	0.99977
70	0.0461	1.11904	0.9998	0.66952	0.48081	0.99544	0.82898	0.18449	1.86608	0.99967
	0.04775	0.99922	0.99947	0.6887	0.43374	0.99452	0.86572	0.1506	1.96986	0.9996
80	0.03254	1.13977	0.99961	0.6242	0.47696	0.99378	0.8061	0.1588	1.73546	0.99944
	0.03507	0.9507	0.99971	0.65759	0.40112	0.99392	0.84565	0.12972	1.69799	0.99981

**Cuadro B-18: Parámetros de las ecuaciones de Casson, Ley de Potencia y Herschel-Bulkley, obtenidos para el licor de cacao a 9 horas de molienda de la variedad CCN-51**

Tº	Casson			Ley de Potencia			Herschel - Bulkey			
	$\eta$	$\tau$	R <sup>2</sup>	n	k	R <sup>2</sup>	n	k	$\tau$	R <sup>2</sup>
30	0.25134	1.6075	0.99963	0.79964	1.00453	0.99752	0.92126	0.49487	4.80404	0.99973
	0.25985	1.45583	0.99978	0.80596	0.98419	0.99928	0.86662	0.69007	2.58795	0.99987
40	0.16455	0.97774	0.99907	0.81586	0.59962	0.99642	0.96679	0.2469	3.93742	0.99975
	0.15779	1.42663	0.99954	0.77614	0.75838	0.99697	0.90756	0.3484	3.77458	0.9996
50	0.10318	1.0329	0.99864	0.77024	0.52133	0.99446	0.95554	0.17487	3.36852	0.99947
	0.10714	0.87759	0.99907	0.78833	0.47494	0.99572	0.95353	0.17943	3.00963	0.99975
60	0.06465	1.22881	0.99952	0.69938	0.54237	0.99517	0.86482	0.20192	2.43113	0.99962
	0.06713	1.08804	0.99927	0.7188	0.49024	0.99437	0.90374	0.16341	2.58544	0.99965
70	0.0466	1.12873	0.99927	0.67174	0.48023	0.99322	0.86895	0.14769	2.21988	0.99941
	0.04722	1.01786	0.99934	0.68605	0.4382	0.9936	0.88091	0.13701	2.1221	0.99963
80	0.0319	1.2488	0.99984	0.60933	0.52288	0.99485	0.77582	0.19	1.68607	0.99985
	0.02769	2.06066	0.99974	0.52279	0.89193	0.99266	0.71495	0.27122	2.36002	0.9997

**ANEXO C: Análisis de varianza con los datos de los Reogramas de ambas variedades de cacao**

**Cuadro C-1: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el esfuerzo de corte - Criollo**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 12.73854

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	7376.77	1	7376.773	579.0909	0.000000	*
TEMP (Q)	919.54	1	919.539	72.1856	0.000000	*
(2) TMOL (L)	5011.16	1	5011.155	393.3854	0.000000	*
TMOL (Q)	955.11	1	955.114	74.9783	0.000000	*
1L by 2L	1373.55	1	1373.552	107.8265	0.000000	*
ERROR	1452.19	114	12.739			
TOTAL SS	17088.33	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro C-2: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el esfuerzo de corte - Clones**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 32.79236

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	10758.96	1	10758.96	328.0936	0.000000	*
TEMP (Q)	1837.34	1	1837.34	56.0295	0.000000	*
(2) TMOL (L)	6633.07	1	6633.07	202.2749	0.000000	*
TMOL (Q)	4052.03	1	4052.03	123.5664	0.000000	*
1L by 2L	2165.73	1	2165.73	66.0437	0.000000	*
ERROR	3738.33	114	32.79			
TOTAL SS	29185.46	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**ANEXO D: Análisis de varianza con los datos de Viscosidad vs. gradiente de velocidad de ambas variedades de cacao**

**Cuadro D-1: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre la viscosidad - Criollo**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 48.94138

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	27993.47	1	27993.47	571.9795	0.000000	*
TEMP (Q)	3496.30	1	3496.30	71.4386	0.000000	*
(2) TMOL (L)	19042.17	1	19042.17	389.0812	0.000000	*
TMOL (Q)	3647.86	1	3647.86	74.5352	0.000000	*
1L by 2L	5242.62	1	5242.62	107.1203	0.000000	*
ERROR	5579.32	114	48.94			
TOTAL SS	65001.73	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro D-2: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre la viscosidad – Clones**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 39.73763

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	31297.37	1	31297.37	787.6004	0.000000	*
TEMP (Q)	3651.75	1	3651.75	91.8964	0.000000	*
(2) TMOL (L)	17389.97	1	17389.97	437.6196	0.000000	*
TMOL (Q)	9065.18	1	9065.18	228.1259	0.000000	*
1L by 2L	2560.37	1	2560.37	64.4318	0.000000	*
ERROR	4530.09	114	39.74			
TOTAL SS	68494.73	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**ANEXO E: Análisis de varianza con los datos de la Ley de Herschel - Bulkley**

**Cuadro E-1: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el índice de flujo- CRIOLLO**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.002381

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	0.203277	1	0.203277	85.38731	0.000000	*
TEMP (Q)	0.053125	1	0.053125	22.31560	0.000007	*
(2) TMOL (L)	0.005473	1	0.005473	2.29886	0.132237	
TMOL (Q)	0.011558	1	0.011558	4.85513	0.029575	*
1L by 2L	0.029398	1	0.029398	12.34899	0.000634	*
ERROR	0.271393	114	0.002381			
TOTAL SS	0.574225	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro E-2: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el índice de flujo - CLONES**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.019111

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	0.029390	1	0.029390	15.3788	0.000151	*
TEMP (Q)	0.210736	1	0.210736	110.2696	0.000000	*
(2) TMOL (L)	0.017178	1	0.017178	8.9884	0.003336	*
TMOL (Q)	0.028880	1	0.028880	15.1117	0.000171	*
1L by 2L	0.100773	1	0.100773	52.7303	0.000000	*
ERROR	0.217865	114	0.001911			
TOTAL SS	0.604821	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro E-3: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el índice de consistencia– CRIOLLO**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.026700

<b>FACTOR</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	
<b>(1) TEMP (L)</b>	3.25741	1	3.257413	122.0013	0.000000	*
<b>TEMP (Q)</b>	1.20064	1	1.200643	44.9682	0.000000	*
<b>(2) TMOL (L)</b>	2.52596	1	2.525957	94.6058	0.000000	*
<b>TMOL (Q)</b>	0.63351	1	0.633509	23.7271	0.000004	*
<b>1L by 2L</b>	1.46239	1	1.462389	54.7715	0.000000	*
<b>ERROR</b>	3.04378	114	0.026700			
<b>TOTAL SS</b>	12.12369	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro E-4: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el índice de consistencia– CLONES**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.2730193

<b>FACTOR</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	
<b>(1) TEMP (L)</b>	15.29542	1	15.29542	56.02320	0.000000	*
<b>TEMP (Q)</b>	7.92838	1	7.92838	29.03962	0.000000	*
<b>(2) TMOL (L)</b>	9.55043	1	9.55043	34.98077	0.000000	*
<b>TMOL (Q)</b>	8.13530	1	8.13530	29.79751	0.000000	*
<b>1L by 2L</b>	11.11582	1	11.11582	40.71441	0.000000	*
<b>ERROR</b>	31.12421	114	0.27302			
<b>TOTAL SS</b>	83.14955	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro E-5: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el límite de fluencia - CRIOLLO**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.5265152

<b>FACTOR</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	
<b>(1) TEMP (L)</b>	78.1586	1	78.1586	148.4452	0.000000	*
<b>TEMP (Q)</b>	0.0701	1	0.0701	0.1331	0.715878	
<b>(2) TMOL (L)</b>	203.4719	1	203.4719	386.4502	0.000000	*
<b>TMOL (Q)</b>	36.5455	1	36.5455	69.4101	0.000000	*
<b>1L by 2L</b>	1.5517	1	1.5517	2.9470	0.088750	
<b>ERROR</b>	60.0227	114	0.5265			
<b>TOTAL SS</b>	379.8205	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro E-6: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el límite de fluencia- CLONES**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.6294405

<b>FACTOR</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	
<b>(1) TEMP (L)</b>	46.1872	1	46.1872	73.3783	0.000000	*
<b>TEMP (Q)</b>	7.4483	1	7.4483	11.8333	0.000814	*
<b>(2) TMOL (L)</b>	122.1202	1	122.1202	194.0140	0.000000	*
<b>TMOL (Q)</b>	97.4936	1	97.4936	154.8893	0.000000	*
<b>1L by 2L</b>	2.0890	1	2.0890	3.3188	0.071112	
<b>ERROR</b>	71.7562	114	0.6294			
<b>TOTAL SS</b>	347.0946	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**ANEXO F: Análisis de varianza con los datos de la Ley de Casson**

**CuadroF-1: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el límite de fluencia - CRIOLLO**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.25371

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	0.02243	1	0.02243	0.0884	0.766746	
TEMP (Q)	2.05739	1	2.05739	8.1092	0.005225	*
(2) TMOL (L)	33.65982	1	33.65982	132.6711	0.000000	*
TMOL (Q)	9.81696	1	9.81696	38.6938	0.000000	*
1L by 2L	1.31965	1	1.31965	5.2014	0.024427	*
ERROR	28.92279	114	0.25371			
TOTAL SS	75.79905	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**CuadroF-2: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre el límite de fluencia - CLONES**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.2978931

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	2.21399	1	2.21399	7.4322	0.007419	*
TEMP (Q)	5.96490	1	5.96490	20.0236	0.000018	*
(2) TMOL (L)	11.62098	1	11.62098	39.0106	0.000000	*
TMOL (Q)	31.20951	1	31.20951	104.7675	0.000000	*
1L by 2L	1.73428	1	1.73428	5.8218	0.017423	*
ERROR	33.95981	114	0.29789			
TOTAL SS	86.70348	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro F-3: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre la viscosidad plástica – CRIOLLO**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.0018557

FACTOR	SS	Df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	1.396606	1	1.396606	752.6176	0.000000	*
TEMP (Q)	0.160080	1	0.160080	86.2654	0.000000	*
(2) TMOL (L)	0.498644	1	0.498644	268.7142	0.000000	*
TMOL (Q)	0.086287	1	0.86287	46.4992	0.000000	*
1L by 2L	0.207368	1	0.207368	111.7485	0.000000	*
ERROR	0.211546	114	0.001856			
TOTAL SS	2.560530	119				

Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**Cuadro F-4: Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de la temperatura y tiempo de molienda sobre la viscosidad plástica – CLONES**

2 Factores, 1 Bloque, 120 Corridas, MS Residual= 0.015567

FACTOR	SS	df	MS	F	p	
(1) TEMP (L)	2.065483	1	2.065483	132.6846	0.000000	*
TEMP (Q)	0.335553	1	0.335553	21.5556	0.000009	*
(2) TMOL (L)	1.110197	1	1.110197	71.3180	0.000000	*
TMOL (Q)	0.520522	1	0.520522	33.4378	0.000000	*
1L by 2L	0.548534	1	0.548534	35.2373	0.000000	*
ERROR	1.774622	114	0.015567			
TOTAL SS	6.354911	119				

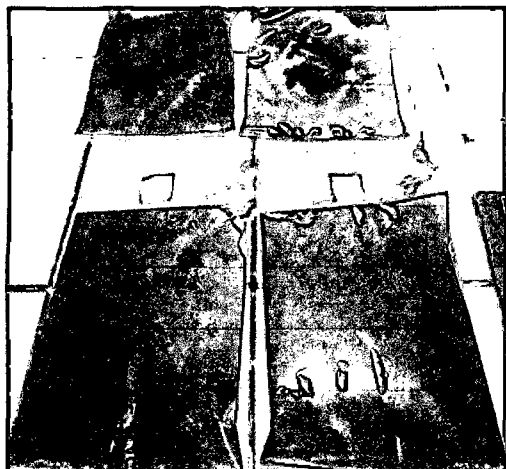
Los datos de color rojo (\*) muestran influencia entre ellos.

**ANEXO G: Imágenes referente al desarrollo de la investigación**



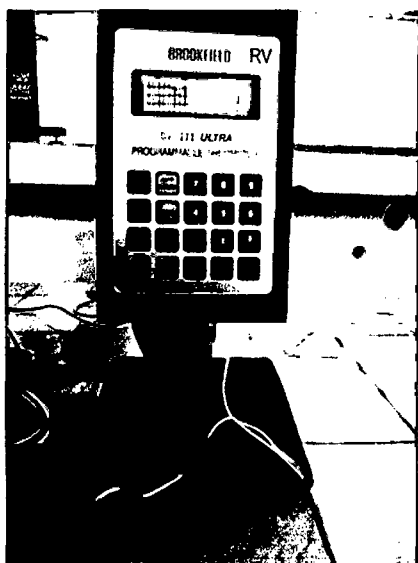
**Plantaciones de cacao de la  
variedad: Criollo y CCN-51**

**Recepción del licor de cacao de  
la conchadora a cada hora**



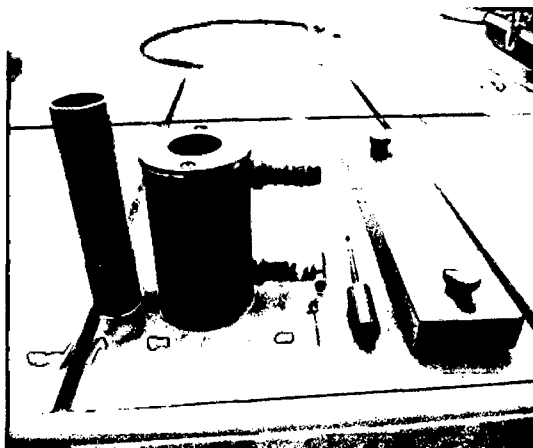
**Muestras de licor cacao, usadas  
en la investigación**

Medición del tamaño de partícula  
con el micrómetro



Reómetro rotacional Brookfield DV – III

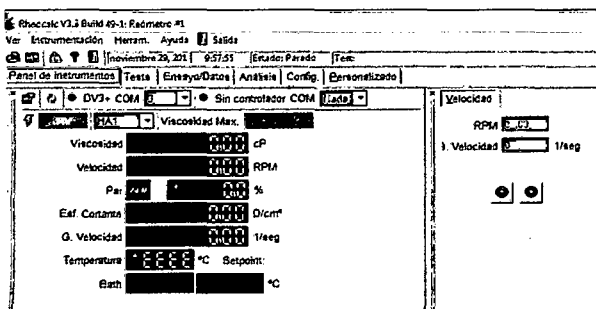
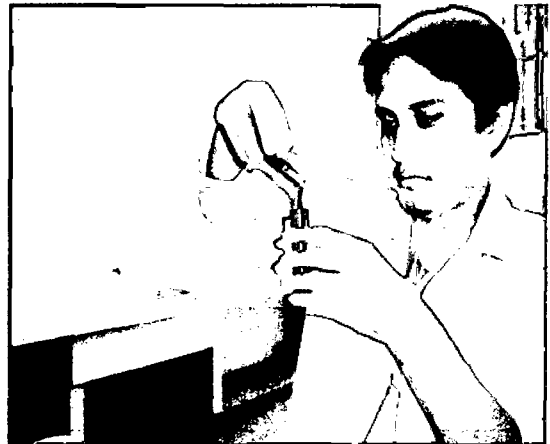
Accesorios del Reómetro





Armado del equipo para su uso

Colocación de la muestra del licor de cacao



Pantalla principal del Programa RHEOCALC

## ANEXO H

# FICHA TECNICA



Nombre del Producto	LICOR DE CACAO
Descripción	Producto elaborado a base de los nibs de cacao, que pasa por un proceso de conchado de aproximadamente 14 horas.
Características Sensoriales, Físico-Químicas y Microbiológicas	<p><b>Sensoriales</b></p> <p>Color : Marrón oscuro          Olor : Característico          Sabor : Característico          Consistencia : Sólida          Textura : Masa Fina</p> <p><b>Físico-Químicos</b></p> <p>Humedad : 2% máx.          Fineza : 12 - 16 (<math>\mu</math>)          pH : 5,5          Grasa : 35%          Almidón : 9%          Cenizas : 6.5%          Fibra Cruda : 3.5%          Acidez : 1.5 - 2%</p> <p><b>Microbiológicos</b></p> <p>E. Coli (ufc /g) : &lt; 3          Mohos (ufc /g) : &lt; 1 x10<sup>2</sup>          Salmonella en 25 g (ufc /g) : Ausencia</p>
Características agregadas por proceso	Reducción de tamaño del partícula y desarrollo del aroma y sabor durante los procesos de conchado y tostado.
Envases y Embalajes	Los envases deben ser de un material suficientemente inerte a la acción del producto , de tal forma que no altere sus características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas y a la vez que no origen sustancias toxicas durante su manejo, transporte y almacenamiento, y deben ser aprobados por la autoridad sanitaria competente.
Presentaciones	Barra x 90 g / Display x 15 barras / Caja master x 6 displays
Condiciones de almacenamiento y transporte	Temperaturas de 18°C a 20°C y 65% HR
Vida útil de producto	12 meses en condiciones adecuadas de almacenamiento.
Rotulado y su contenido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del producto</li> <li>• Nombre del productor</li> <li>• Dirección del establecimiento del fabricante</li> <li>• Peso neto</li> <li>• Fecha vencimiento</li> <li>• Número de lote</li> <li>• Tabla nutricional</li> <li>• Nº de Registro Sanitario</li> </ul>