



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Evaluación de las características reológicas, fisicoquímicas y  
sensoriales de una bebida láctea de avena con doble esterilización”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN GESTIÓN DE PROCESOS Y SEGURIDAD DE LOS  
ALIMENTOS**

**Presentada por:**

**Michelle Elizabeth Barreto Vásquez**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2022**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud y permitirme salir adelante en medio de la pandemia.

A mi mamá, por su paciencia, comprensión, amor y no dejarme caer en los momentos más difíciles. A mi padre, por apoyo y consejos. A mi abuelita, por sus oraciones, palabras de aliento y motivación.

A mis amigos, por su apoyo.

A mi tutor de tesis, por ayuda y guía para sacar adelante el presente proyecto e impulsarme a seguir estudiando y preparándome profesionalmente.

A la empresa, por permitirme ser parte del proyecto y facilitarme los equipos necesarios para el cumplimiento y recolección de datos.

## DEDICATORIA

A mis padres, por su ayuda, paciencia y comprensión durante mis estudios e impulsarme siempre a ser mejor cada día en lo personal y profesional.

A mi familia y amigos, por su apoyo en mis metas a cumplir.

## **TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

---

**Patricio Cáceres, Ph.D.  
DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**Karín Coello., MSc.  
VOCAL**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

Michelle Elizabeth Barreto Vasquez

## RESUMEN

Debido al poco tiempo de vida útil y condiciones de temperatura bajas para el almacenamiento y distribución de una bebida a base de avena, se evaluó un cambio en la línea de su procesamiento. La bebida cuenta actualmente con un solo proceso térmico de esterilización en línea continua, sin embargo, por razones de equipamiento y materiales, el producto se envasa en frío. La propuesta de este trabajo consistió en evaluar y seleccionar un segundo proceso térmico posterior al envasado que permita mantener las características reológicas, fisicoquímicas y sensoriales dentro de los rangos establecidos con el fin de prevenir afectaciones en el producto debido a las condiciones de distribución. La caracterización reológica del producto permitió conocer el tipo de fluido y su comportamiento. Las muestras fueron evaluadas y comparadas frente a un patrón en las características físico-químicas de pH, grados brix y acidez, mientras que los atributos sensoriales evaluados fueron la apariencia, sabor, aroma y textura. La receta #2 con una temperatura de 110 °C y tiempo de retención de 17 minutos fue la seleccionada ya que presentó la característica reológica de viscosidad y atributos sensoriales sin diferencia estadísticamente significativa con el patrón ( $\alpha=0.05$ ), y mantuvieron las características físico-químicas dentro del rango durante 45 días.

**Palabras claves:** Reología, bebida de avena, características físico-químicas, propiedades sensoriales

## **ABSTRACT**

*Due to the short shelf life and low temperature conditions for storage and distribution of a milk beverage with oat, a change in the processing line was evaluated. The beverage currently has a single continuous line thermal sterilization process; however, for equipment and material reasons, the product is packaged cold. The proposal of this work consisted of evaluating and selecting a second thermal process after packaging that would allow maintaining the rheological, physicochemical and sensory characteristics within the established ranges in order to prevent product affectations due to distribution conditions. The rheological characterization of the product made it possible to know the type of fluid and its behavior. The samples were evaluated and compared against a standard in the physicochemical characteristics of pH, brix degrees and acidity, while the sensory attributes evaluated were appearance, flavor, aroma and texture. Recipe #2 with a temperature of 110 °C and a retention time of 17 minutes was selected because it presented the rheological characteristic of viscosity and sensory attributes without statistically significant difference with the standard ( $\alpha=0.05$ ), and maintained the physical-chemical characteristics within the range for 45 days.*

**Keywords:** *rheological characterization, physicochemical characteristics, sensory attributes.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Descripción del problema .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Antecedentes y justificación del problema.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Objetivo General .....	14
1.3.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Metodología .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Prueba en planta.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Reología.....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Viscosidad.....	15
2.2.2 Tipo de fluido .....	16
<b>2.3 Características fisicoquímicas.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Características sensoriales.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Análisis estadístico .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>19</b>
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Prueba en planta.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Reología.....</b>	<b>19</b>
3.2.1 Viscosidad.....	19
3.2.2 Tipo de fluido .....	20
<b>3.3 Características fisicoquímicas.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Características sensoriales.....</b>	<b>24</b>



<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>27</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>28</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>30</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Curva de viscosidad vs. velocidad de cizallamiento a $T=10^{\circ}\text{C}$ .....	21
Figura 3.2 Curva de viscosidad vs. velocidad de cizallamiento a $T=26^{\circ}\text{C}$ .....	21
Figura 3.3 Curva de viscosidad vs. velocidad de cizallamiento a $T=30^{\circ}\text{C}$ .....	22
Figura 3.4 Resultados de atributos sensoriales a $10^{\circ}\text{C}$ .....	26

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Fórmula de la bebida patrón _____	15
Tabla 2.2 Recetas de esterilización en Hydrolock _____	15
Tabla 2.3 Tipo de fluido según el índice de flujo (n) _____	16
Tabla 2.4 Rango de aceptación de características fisicoquímicas _____	17
Tabla 2.5 Descripción de escala de intensidades _____	17
Tabla 2.6 Descripción de atributos sensoriales _____	17
Tabla 3.1 Resultados de viscosidad [mPa.s] a velocidad de cizallamiento de 10 [1/s] _____	19
Tabla 3.2 Resultados de viscosidad [mPa.s] a velocidad de cizallamiento de 100 [1/s] _____	19
Tabla 3.3 Resultados de índice de n y k del patrón y muestras a 10 °C _____	21
Tabla 3.4 Resultados de índice de n y k del patrón y muestras a 26 °C _____	22
Tabla 3.5 Resultados de índice de n y k del patrón y muestras a 30 °C _____	22
Tabla 3.6 Resultados fisicoquímicos receta #1 _____	23
Tabla 3.7 Resultados fisicoquímicos receta #2 _____	23
Tabla 3.8 Resultados fisicoquímicos receta #3 _____	23
Tabla 3.9 Estabilidad sensorial receta #1 _____	24
Tabla 3.10 Estabilidad sensorial receta #2 _____	24
Tabla 3.11 Estabilidad sensorial receta #3 _____	24
Tabla 3.12 Perfil sensorial patrón _____	25
Tabla 3.13 Perfilamiento sensorial receta #1 _____	25
Tabla 3.14 Perfilamiento sensorial receta #2 _____	25
Tabla 3.15 Perfilamiento sensorial receta #3 _____	25

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda del consumo de avena en Ecuador y el mundo ha llevado a la industria alimentaria a desarrollar nuevos productos para diversificar la gama de alimentos con avena. La tasa de consumo en el 2021 fue de 21000 toneladas (Mundi, 2021). La avena es un cereal que necesita de un clima fresco y húmedo para crecer, por lo que se cultiva mayormente en Europa y América del norte (Varma et al., 2016). Este cereal es una fuente de proteína con un alto contenido de fibra y menor contenido de carbohidratos en comparación con otros cereales como el trigo y maíz (Moreiras Tuni et al., 2015). Entre los beneficios principales está el mejoramiento del estreñimiento, regulando la digestión y ofrece sensación de saciedad en poca cantidad de consumo (Carus et al., 2017).

La bebida láctea con avena es un producto elaborado a partir de una mezcla de leche, azúcar, almidón y avena, consumida por niños, jóvenes y adultos de distintas edades. La temperatura de almacenamiento y de consumo es de 6 a 10 °C para una mejor conservación, sensación en boca y percepción de cremosidad, aroma y sabor. La combinación de ingredientes le da un sabor único y característico a la bebida cuya presentación es de 300 ml en botellas de polietileno de alta densidad. El ingrediente principal es la leche cruda, es decir que no ha pasado por ningún tratamiento térmico, y es regulada bajo los requisitos de la norma técnica ecuatoriana Leche fluida con ingredientes ya que cumple con el requisito específico 6.1.6 que dice que: *“el peso total de las sustancias no lácteas agregadas a las leches fluidas con ingredientes no será superior al 30% del peso total del producto”* (INEN, 2010).

El proceso de elaboración inicia con la mezcla de la leche e ingredientes en un mezclador de recirculación que permite la dosificación controlada de ingredientes en polvo y posteriormente esta mezcla es esterilizada en un intercambiador de calor de placas a 139 °C y luego enfriada, envasada y almacenada en refrigeración. El sabor y viscosidad son las características distintivas del producto y por ende las que se requieren mantener al someter al producto envasado a una nueva esterilización de presión continua en el equipo Hydrolock. La nueva esterilización permitiría que la bebida se almacene a temperatura ambiente sin alterar las características fisicoquímicas, reológicas y sensoriales (Lopez, 2012).

Los riesgos fisicoquímicos de someter el producto a doble esterilización es que el pH disminuya y la acidez aumente, debido a que diferentes estudios muestran que los tratamientos térmicos en productos lácteos provocan el aumento de la acidez en la leche debido a que las  $\beta$ -lactoglobulinas se ven afectadas por las altas temperaturas (Tornadijo et al., 1998), mientras que la precipitación de fosfato de calcio y degradación de la lactosa forman ácidos orgánicos que disminuyen el pH (Martinez-Castro et al., 1986). En cuanto a la parte sensorial del producto se ha observado que tratamientos térmicos en exceso pueden provocar pérdida del azúcar de la leche, lactosa, por medio de la reacción de Maillard y producir colores o sabores no característicos (Rodríguez, 2012).

Otro punto muy importante por considerar y que va de la mano con el atributo sensorial de apariencia son las características reológicas, en especial la viscosidad. La bebida láctea de avena es un fluido no newtoniano, cuya relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizallamiento no es constante (Ramírez, 2006), con comportamiento de tipo pseudoplástico ya que la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de cizallamiento (Ciro Velásquez, 2006).

Por lo tanto, el propósito de este trabajo fue evaluar y comparar las características reológicas, fisicoquímicas y sensoriales entre el producto que se procesa actualmente con un solo proceso de esterilización y el que se sometería a doble esterilización.

## **1.1 Descripción del problema**

Existe una bebida láctea con avena cuya característica distintiva, además del sabor, es la viscosidad. Este producto es esterilizado en línea continua en un intercambiador de calor de placa a una temperatura de 139° C con un tiempo de retención de 4 segundos, luego es almacenado en un tanque hasta que pase a la etapa de envasado no aséptico. Este producto es comercializado tanto en canal moderno como en canal tradicional y debe ser almacenado en refrigeración para conservar sus características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

Se han encontrado alteraciones en dichas características cuando se rompe la cadena de frío durante la distribución o cuando no es almacenado correctamente en refrigeración, sobre todo en el canal de comercialización tradicional.

Para no depender de la cadena de frío y evitar deterioro del producto, se propone someter la bebida láctea con avena ya envasada en botellas de polietileno de alta densidad a una segunda esterilización y estudiar los cambios reológicos, en la viscosidad y en el perfil sensorial del producto.

## **1.2 Antecedentes y justificación del problema**

En los últimos años la empresa ha aumentado la gama de productos lácteos en su cartera gracias a las constantes innovaciones. El proceso de desarrollo de productos incluye la creación de la ficha técnica con las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales del producto terminado, las cuales son determinadas según la normativa que aplique y los rangos se establecen con base a los resultados obtenidos en la estabilidad. La información proporcionada sirve como un criterio de aceptación o rechazo en caso de existir alguna desviación de proceso.

Sin embargo, no se ha levantado información sobre la reología de los productos porque no se consideraba necesario ya que con los parámetros existentes en la ficha técnica era suficiente para definir el producto. La caracterización reológica de los productos en la actualidad es indispensable para la automatización o mejora de procesos ya que permite conocer el comportamiento del fluido bajo diferentes condiciones temperatura, esfuerzo cortante y velocidad de cizalla.

Actualmente, la bebida láctea con avena pasa por un proceso de esterilización antes de ser envasada y necesita ser almacenada en refrigeración para que conserve sus características dentro de los rangos establecidos.

Se propone una segunda esterilización del producto, pero después del envasado, con el reto de obtener un producto con similares características fisicoquímicas, reológicas y sensoriales del producto que actualmente se comercializa.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar las características reológicas, fisicoquímicas y sensoriales de una bebida láctea de avena con doble esterilización para la selección del proceso térmico óptimo.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la caracterización reológica de la bebida láctea de avena sometida a un proceso de esterilización y a las que pasan por un segundo proceso de esterilización posterior al envasado.
- Evaluar las características reológicas, fisicoquímicas y sensoriales del producto sometido a diferentes condiciones de esterilización.
- Determinar la combinación de tiempo y temperatura de la segunda esterilización que permita mantener las características reológicas, fisicoquímicas y sensoriales similares al producto actual.

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

Este capítulo presenta las recetas de esterilización utilizadas en el equipo Hydrolock para la prueba en planta, asegurando llegar a la esterilización comercial. Además, se presenta la metodología seguida para los análisis de las características reológicas, estabildades fisicoquímicas y sensorial del producto final.

#### 2.1 Prueba en planta

Para la prueba en planta de la bebida láctea con avena se preparó la mezcla con la fórmula actual que se muestra en la tabla 2.1 y luego pasó a ser esterilizada en un intercambiador de placas a una temperatura de 139 °C con un tiempo de retención de 4 segundos. Posteriormente, se enfrió y pasó a ser almacenada en un tanque aséptico hasta que pueda ser envasada.

**Tabla 2.1 Fórmula de la bebida patrón**

Ingrediente	%
Leche	89.90 %
Azúcar	6.00 %
Almidón	3.00 %
Avena	1.00 %
Regulador de acidez, estabilizador (fosfatos), saborizantes y conservantes	0.10 %

Fuente: Autor

Se envasó el producto en botellas de polietileno de alta densidad y se introdujo en el equipo Hydrolock para ser sometido a un proceso de esterilización de presión continua. Para esta prueba se dividió en 3 lotes y se aplicó una receta con diferente combinación de tiempo y temperatura en cada una de tal forma que se asegura la inocuidad del producto al cumplir con el  $F_0$  objetivo en estudios previos, como se muestra en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Recetas de esterilización en Hydrolock**

	Receta #1	Receta #2	Receta #3
Temperatura [°C]	112 °C	110 °C	121.5 °C
Tiempo [min]	13 min	17 min	14 min

Fuente: Autor

Las muestras obtenidas de cada receta fueron divididas para ser almacenadas a 10, 26 y 30 °C para su posterior control de estabilidad.

#### 2.2 Reología

##### 2.2.1 Viscosidad

Se utilizó un reómetro rotativo con sistema Peltier para el control de temperatura (Anton Paar, 2019), para medir la viscosidad de las muestras tratadas con diferentes recetas de

esterilización y realizar una curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para estudiar el comportamiento reológico de la muestra.

Las condiciones de medición fueron las siguientes:

- 3 temperaturas constantes de la muestra para cada análisis 10, 26 y 30 °C.
- Incremento lineal de 1 a 100 [s<sup>-1</sup>] de la velocidad de cizallamiento (American Society of Testing Material, 2014)

Las mismas condiciones fueron utilizadas para la medición de la viscosidad de la muestra patrón bebida de una sola esterilización.

### 2.2.2 Tipo de fluido

Para determinar el tipo de fluido se elaboró una curva de flujo con los datos obtenidos del reómetro para cada temperatura. El modelo de Ostwald de Waele (Ley de la Potencia) fue utilizado para realizar e interpretar la gráfica logarítmica de viscosidad aparente vs velocidad de deformación utilizando el programa Excel de Microsoft office.

A partir de esta gráfica, se determinó la ecuación de la línea de tendencia (2.1) de la cual se obtuvo los datos de k y n respectivamente (Singh & Heldman, 2009). Debido a que la viscosidad no es constante y cambia en función del gradiente de velocidad, este parámetro es referido como viscosidad aparente (Ciro Velásquez, 2006).

$$\mu_{\text{aparente}} = k(\dot{\gamma})^{n-1} \quad (2.1)$$

A partir de la información proporcionada por la ecuación de la gráfica, donde  $\dot{\gamma}$  representa la velocidad de cizallamiento, se obtienen los datos de índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n) y se determinó si el fluido es newtoniano o no newtoniano. Si se tratara de un fluido newtoniano n debe ser igual a 1. Para el caso de un fluido no newtoniano existen 2 opciones, cuando el índice de consistencia es menor a uno, el fluido tiene un comportamiento pseudoplástico (Stover & Engineering, 2004) mientras que si este es mayor a uno entonces se trata de un fluido dilatante, esta información se encuentra detallada en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Tipo de fluido según el índice de flujo (n)**

n	Tipo de fluido
>1	Dilatante
=1	Newtoniano
<1	Pseudoplástico

Fuente: (Singh & Heldman, 2009)

## 2.3 Características fisicoquímicas

Para el análisis de estabilidad fisicoquímica se almacenaron las muestras provenientes de la prueba en planta para cada receta de esterilización a tres temperaturas diferentes. A 10 °C como temperatura óptima de refrigeración y de consumo, a 26 °C considerada como temperatura ambiente y 30 °C como condición extrema de almacenamiento.

Las características fisicoquímicas que serán analizadas por 45 días son pH, acidez y grados brix. Para la determinación de pH se utilizó un potenciómetro, los grados brix se obtuvo de un refractómetro digital y la acidez titulable por el método potenciométrico de referencia establecido por el INEN (INEN, 1985).



Se analizaron todas las muestras cada 7 días con el fin de observar la tendencia de los resultados, asegurar que los datos obtenidos cumplan con los requisitos establecidos por la NTE INEN 708:2010 Leche fluida con ingredientes (INEN, 2010) y establecer el rango de especificación de los parámetros fisicoquímicos para la ficha técnica del producto final.

El rango de aceptación establecido de características fisicoquímicas para el producto es el que se muestra en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Rango de aceptación de características fisicoquímicas**

pH	Acidez	Grados brix
6,60 - 6,74	0,1000 - 0,1360	20,00 - 22,00

Fuente: Autor

## 2.4 Características sensoriales

Los atributos por considerar en la evaluación sensorial son sabor, aroma, cremosidad y apariencia.

Se realizó una evaluación del comportamiento de los atributos sensoriales levantados en la ficha sensorial del producto actual con una esterilización. Las muestras fueron evaluadas por un panel capacitado cada 7 días por 45 días. El método a utilizar es el análisis descriptivo cuantitativo en el cual se utiliza una escala lineal para describir la intensidad del atributo (Liria Domínguez, 2007). La escala utilizada para la calificar la intensidad de los atributos es la que se presenta en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Descripción de escala de intensidades**

Puntos	Rango de intensidad del atributo
[0, 2)	Bajo.
[2, 4)	Medio bajo.
[4, 6)	Medio - normal.
[6, 8)	Medio alto.
[8, 10)	Alto.

Fuente: Autor

Los atributos sensoriales evaluados se encuentran resumidos en la Tabla 2.6 y serán utilizados como base para realizar la estabilidad sensorial de las muestras tratadas con las recetas #1, #2 y #3.

**Tabla 2.6 Descripción de atributos sensoriales**

Atributo sensorial	Descripción
Apariencia	Líquido fluido con ligera formación de anillo de avena en parte inferior.
Aroma	A leche condensada con notas a vainilla.
Sabor	Avena con sabor dulce a leche condensada y ligeras notas de sabor vainilla.
Cremosidad	Intensidad de cremosidad

Fuente: Autor

Las muestras evaluadas para cada receta fueron las almacenadas a la temperatura recomendada de consumo de 10°C.

El panel entrenado y aprobado para la evaluación sensorial de producto lácteos conformado por 6 representantes de I+D, calidad y producción fueron los encargados de realizar la estabilidad sensorial cada 7 días. En cada sesión se evaluó los 4 atributos sensoriales de apariencia, cremosidad, aroma y sabor, y se utilizó la tabla 2.4 para calificar la intensidad percibida del atributo.

Se busca la muestra correspondiente a la receta que presente el perfil sensorial con mayor similitud a la muestra patrón. Luego de la selección de receta, se realizó un perfilamiento sensorial del producto con ayuda de un panel entrenado conformado por 6 representantes de I+D, calidad y producción.

## **2.5 Análisis estadístico**

Los datos experimentales de viscosidad representan la media  $\pm$  desviación estándar de las mediciones realizadas por triplicado. El análisis de varianza y la prueba de comparación de Duncan se utilizaron para evaluar las diferencias entre las medias con un intervalo de confianza del 95 % ( $p < 0.05$ ). Se realizó el análisis estadístico con el programa Statistica.

## CAPÍTULO 3

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Prueba en planta

La prueba en planta resultó exitosa para las 3 recetas ya que no se evidenció envases dañados luego de la segunda esterilización. Las características fisicoquímicas y microbiológicas estuvieron dentro del rango permitido para la liberación del producto.

#### 3.2 Reología

##### 3.2.1 Viscosidad

Los resultados de viscosidad obtenidos por el reómetro rotacional se encuentran en el anexo A. Se tomó dos niveles de velocidad de cizallamiento, 10 y 100 [1/s], a tres diferentes temperaturas 10 °C, 26°C y 30 °C.

Los datos mostrados en la tabla 3.1 son la media  $\pm$  la desviación estándar a una velocidad de cizallamiento de 10 [1/s] de corridas independientes realizadas por triplicado a las muestras patrón, receta #1, receta #2 y receta #3.

Diferentes letras en superíndice dentro de cada columna indican que existe diferencia significativa entre las muestras ( $p \leq 0.05$ , prueba de Duncan). De igual manera se muestran los resultados para una velocidad de cizallamiento de 100 [1/s] en la tabla 3.2.

**Tabla 3.1 Resultados de viscosidad [mPa.s] a velocidad de cizallamiento de 10 [1/s]**

	10 °C	26 °C	30 °C
<b>Patrón</b>	548.0 $\pm$ 3.6 <sup>c</sup>	387.8 $\pm$ 6.9 <sup>c</sup>	221.3 $\pm$ 10.9 <sup>b</sup>
<b>Receta #1</b>	515.5 $\pm$ 4.9 <sup>b</sup>	289.2 $\pm$ 8.4 <sup>b</sup>	197.3 $\pm$ 7.4 <sup>a</sup>
<b>Receta #2</b>	483.3 $\pm$ 6.4 <sup>a</sup>	250.9 $\pm$ 6.1 <sup>a</sup>	197.7 $\pm$ 7.8 <sup>a</sup>
<b>Receta #3</b>	473.5 $\pm$ 7.7 <sup>a</sup>	260.5 $\pm$ 9.3 <sup>a</sup>	200.7 $\pm$ 7.6 <sup>a</sup>

Fuente: Autor

**Tabla 3.2 Resultados de viscosidad [mPa.s] a velocidad de cizallamiento de 100 [1/s]**

	10 °C	26 °C	30 °C
<b>Patrón</b>	273.0 $\pm$ 8.9 <sup>b</sup>	174.7 $\pm$ 6.1 <sup>b</sup>	123.3 $\pm$ 8.7 <sup>a</sup>
<b>Receta #1</b>	230.3 $\pm$ 16.6 <sup>a</sup>	137.3 $\pm$ 8.6 <sup>a</sup>	119.3 $\pm$ 17.1 <sup>a</sup>
<b>Receta #2</b>	220.6 $\pm$ 9.0 <sup>a</sup>	132.7 $\pm$ 6.1 <sup>a</sup>	113.0 $\pm$ 7.5 <sup>a</sup>
<b>Receta #3</b>	217.7 $\pm$ 8.6 <sup>a</sup>	127.7 $\pm$ 6.1 <sup>a</sup>	110.3 $\pm$ 7.5 <sup>a</sup>

Fuente: Autor

El comportamiento reológico puede explicarse debido a que la viscosidad de la leche al combinarse con agentes espesantes aumenta de manera no lineal al aumentar la concentración de sólidos solubles por un tratamiento térmico (Bienvenue et al., 2003). La transición de un fluido newtoniano a no newtoniano ocurre debido a la eliminación de agua que provoca el aumento de la fracción de volumen de partículas dispersas y aumenta las interacciones entre micelas, mientras menor sea la distancia entre micelas mayor será la viscosidad (Prentice, 1992; Walstra & Jenness, 1984).

Se puede observar que todas las muestras presentan el mismo comportamiento que al disminuir la temperatura de almacenamiento la viscosidad del producto aumenta, es por lo que se considera como temperatura óptima de consumo 10 °C. La temperatura tiene una influencia significativa en la viscosidad de alimentos fluidos debido a que al aumentar la temperatura se suministra energía al producto haciendo que las interacciones intermoleculares y la fricción interna se reduzcan, por lo tanto, la viscosidad disminuye (Sharoba et al., 2005).

Sin embargo, la viscosidad característica de la bebida láctea con avena se atribuye al uso de almidón en su formulación, que actúa como agente espesante debido a la baja interacción entre las moléculas (Badui, 2006).

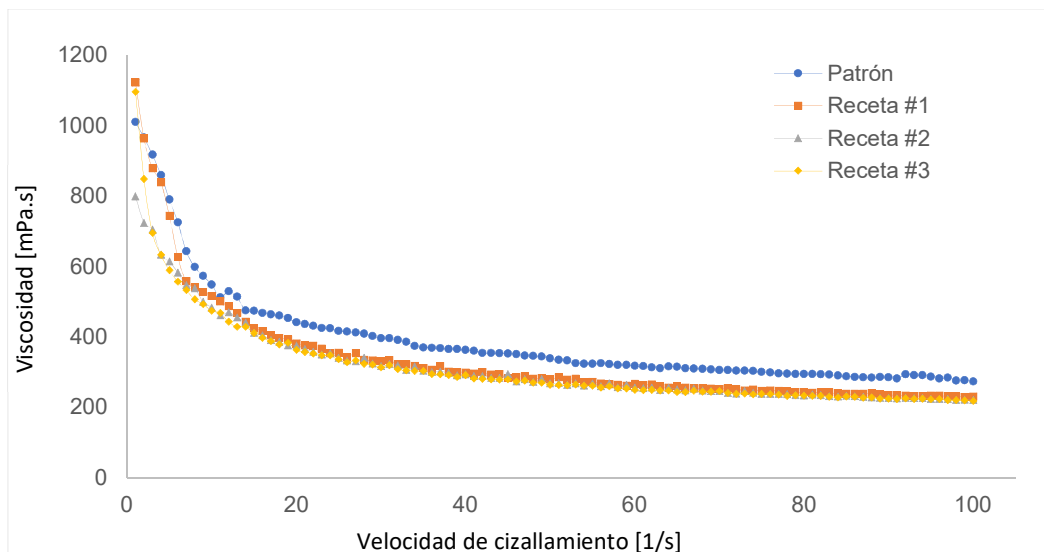
Según Badui, la temperatura por la cual el almidón inicia el proceso de gelatinización es a 65 °C aproximadamente, pero que al competir con la sacarosa por el agua para hidratarse ocasiona una disminución en la velocidad de gelatinización así como de la viscosidad del producto final, es por esto que la proporción de almidón en la fórmula al ser menor que el porcentaje de azúcar provoca que se obtenga el color beige deseado, como resultado de la reacción de Maillard (Rodríguez, 2012), y la viscosidad de un fluido semilíquido.

A mayor temperatura y retención en el proceso de esterilización mayor será la viscosidad del producto final. Sin embargo, la temperatura a la que se almacena el producto también juega un papel importante debido a que al enfriarse ocurre el fenómeno denominado retrogradación del almidón que se da cuando las moléculas del almidón empiezan a reestructurarse de forma ordenada incrementando su firmeza y por ende la viscosidad del producto (Rodríguez-Sandoval et al., 2007).

### **3.2.2 Tipo de fluido**

Con los datos de viscosidad presentados en la tabla que se encuentra en el anexo A, se procedió a realizar las curvas de viscosidad vs. velocidad de cizallamiento para cada una de las muestras provenientes de las recetas almacenadas a temperaturas de 10, 26 y 30 °C.

Las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 muestran las curvas para la muestra patrón, receta #1, receta #2 y receta #3 a una temperatura de 10, 26 y 30 °C respectivamente. Con las curvas, se obtuvo la ecuación de línea de tendencia de cada una de las muestras y utilizando la ecuación (2.1) de ley de potencia propuesta por Ostwald de Waele (Singh & Heldman, 2009) se obtuvo los valores de índice de comportamiento ( $n$ ) e índice de consistencia ( $k$ ) mostrados en las tablas 3.3, 3.4 y 3.5. Los datos de las tablas son las medias  $\pm$  la desviación estándar de las corridas realizadas por triplicado. Diferentes letras en superíndice dentro de cada fila indican que existe diferencias significativas entre las muestras.



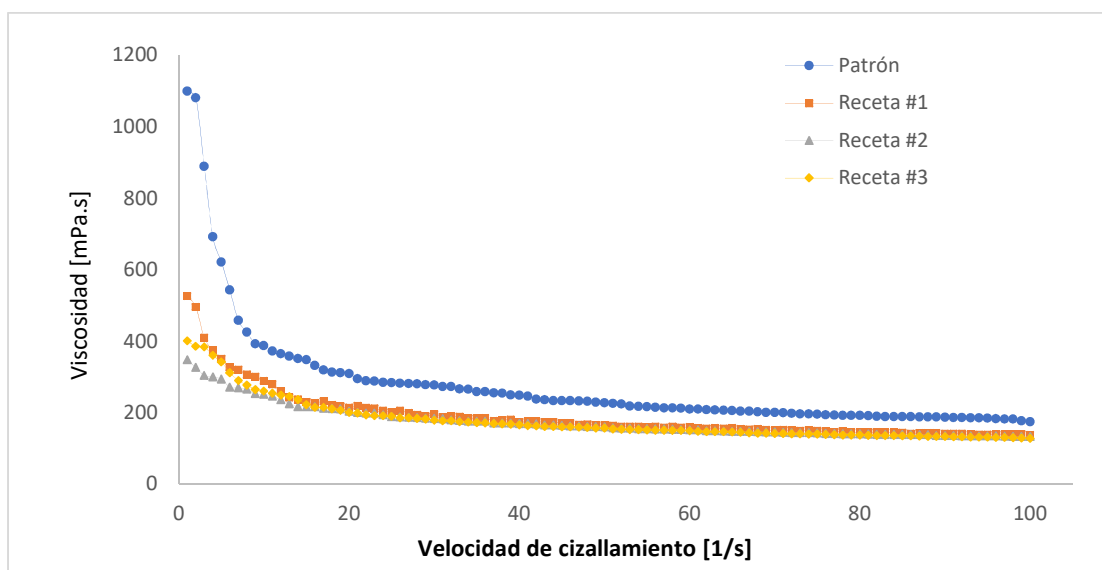
**Figura 3.1** Curva de viscosidad vs. velocidad de cizallamiento a  $T=10^{\circ}\text{C}$

Fuente: Autor

**Tabla 3.3** Resultados de índice de  $n$  y  $k$  del patrón y muestras a  $10^{\circ}\text{C}$

	Patrón	Receta #1	Receta #2	Receta #3
<b>n</b>	$0.686 \pm 0.003^{\text{d}}$	$0.636 \pm 0.003^{\text{a}}$	$0.675 \pm 0.004^{\text{c}}$	$0.659 \pm 0.003^{\text{b}}$
<b>k [mPa.s]</b>	$1160.5 \pm 10.25^{\text{c}}$	$1178.7 \pm 7.01^{\text{d}}$	$980.03 \pm 4.51^{\text{a}}$	$1027.8 \pm 5.25^{\text{b}}$

Fuente: Autor



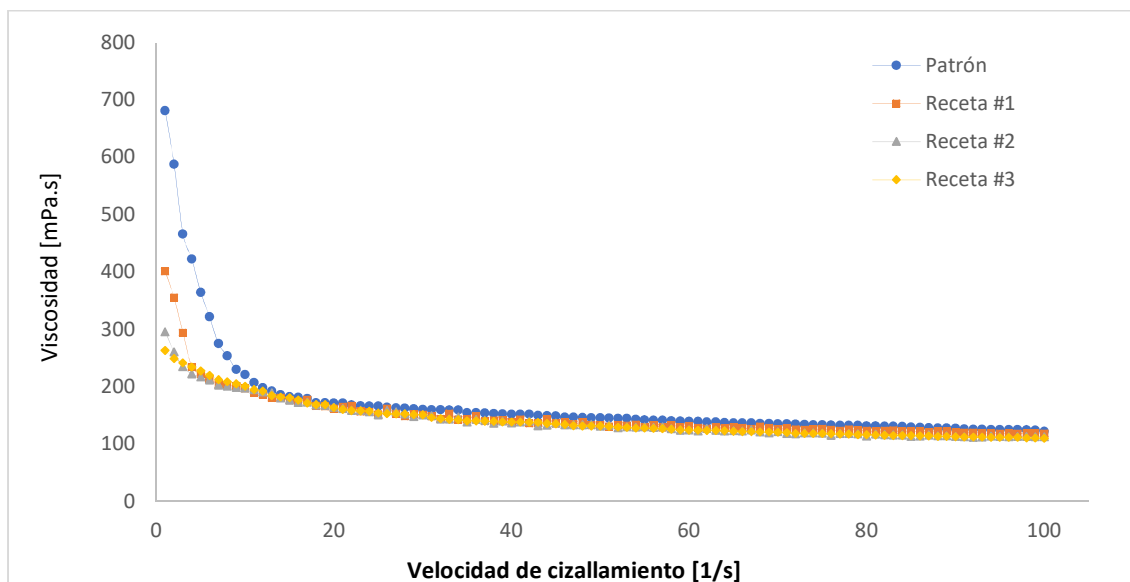
**Figura 3.2** Curva de viscosidad vs. velocidad de cizallamiento a  $T=26^{\circ}\text{C}$

Fuente: Autor

**Tabla 3.4 Resultados de índice de n y k del patrón y muestras a 26 °C**

	Patrón	Receta #1	Receta #2	Receta #3
<b>n</b>	$0.760 \pm 0.01^d$	$0.691 \pm 0.002^a$	$0.753 \pm 0.003^c$	$0.720 \pm 0.005^b$
<b>k [mPa.s]</b>	$630.70 \pm 10.00^d$	$559.66 \pm 3.02^c$	$418.36 \pm 6.00^a$	$465.53 \pm 10.00^b$

Fuente: Autor

**Figura 3.3 Curva de viscosidad vs. velocidad de cizallamiento a T=30°C**

Fuente: Autor

**Tabla 3.5 Resultados de índice de n y k del patrón y muestras a 30 °C**

	Patrón	Receta #1	Receta #2	Receta #3
<b>n</b>	$0.780 \pm 0.005^d$	$0.761 \pm 0.005^a$	$0.773 \pm 0.005^c$	$0.770 \pm 0.008^b$
<b>k [mPa.s]</b>	$521.00 \pm 10.00^d$	$344.91 \pm 5.00^c$	$319.00 \pm 5.50^a$	$321.31 \pm 10.00^b$

Fuente: Autor

Gráficamente se puede decir que todas curvas presentan la misma tendencia de disminución de la viscosidad al aumentar la velocidad de cizallamiento lo que representa a un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico (Singh & Heldman, 2009), y se comprueba con los resultados de los valores de índice de comportamiento de flujo obtenidos que son menores a 1. El comportamiento reológico del producto no varía con las diferentes combinaciones de tratamientos térmicos. A 10 °C existe diferencia significativa entre los valores de índices de comportamiento de flujo e índices de consistencia entre las 3 recetas y la muestra patrón. Sin embargo, a 26 °C entre la receta #2 y el patrón no existe diferencia significativa en el índice de comportamiento de flujo. Considerando 30 °C como la temperatura extrema de almacenamiento, la receta #2 y #3 no presentan diferencias significativas con la muestra patrón.

### 3.3 Características fisicoquímicas

Los resultados de las características fisicoquímicas de pH, acidez y grados brix de las muestras de la receta #1 almacenadas a tres temperaturas diferentes se muestran en la Tabla 3.6. Se observa que durante 45 días todas las muestras se encuentran dentro del rango de aceptación establecido a excepción de la muestra almacenada a 30 °C en el último día de estabilidad cuyo pH estuvo 0.01 debajo y la acidez 0.0008 por encima del rango.

**Tabla 3.6 Resultados fisicoquímicos receta #1**

Día	T° Almacenamiento: 10 °C			T° Almacenamiento: 26 °C			T° Almacenamiento: 30 °C		
	pH	Acidez	Brix	pH	Acidez	Brix	pH	Acidez	Brix
1	6.68	0.1251	21.61	6.68	0.1230	21.61	6.68	0.1266	21.6
7	6.68	0.127	21.50	6.67	0.1291	21.59	6.66	0.1325	21.58
14	6.66	0.1279	21.60	6.67	0.1294	21.77	6.65	0.1328	21.64
21	6.65	0.1305	21.61	6.66	0.1303	21.62	6.63	0.1330	21.35
28	6.65	0.1316	21.60	6.65	0.1320	21.57	6.62	0.1340	21.40
35	6.64	0.1319	21.48	6.63	0.1331	21.76	6.61	0.1359	21.50
42	6.64	0.132	21.95	6.62	0.1340	21.73	6.60	0.1360	21.75
45	6.63	0.1325	21.66	6.61	0.1341	21.75	6.59	0.1368	21.78

Fuente: Autor

En la Tabla 3.7 se observa los datos obtenidos de la estabilidad fisicoquímica de la receta #2, en la cual durante el tiempo de vida útil conserva todas las características dentro del rango de aceptación.

**Tabla 3.7 Resultados fisicoquímicos receta #2**

Día	T° Almacenamiento: 10 °C			T° Almacenamiento: 26 °C			T° Almacenamiento: 30 °C		
	pH	Acidez	Brix	pH	Acidez	Brix	pH	Acidez	Brix
1	6.69	0.1245	21.53	6.69	0.1245	21.52	6.69	0.1245	21.5
7	6.69	0.1254	21.52	6.68	0.1277	21.62	6.68	0.1292	21.61
14	6.68	0.1262	21.57	6.67	0.1295	21.66	6.66	0.1301	21.58
21	6.68	0.1266	21.69	6.66	0.1314	21.65	6.65	0.1306	21.60
28	6.67	0.1288	21.53	6.64	0.1321	21.59	6.63	0.1314	21.59
35	6.66	0.1290	21.60	6.64	0.1328	21.60	6.62	0.1333	21.58
42	6.66	0.1294	21.58	6.63	0.1329	21.55	6.61	0.1346	21.64
45	6.66	0.1298	21.59	6.61	0.1334	21.62	6.60	0.1349	21.61

Fuente: Autor

Como se muestra en la Tabla 3.8, la receta #3 es la que presentó valores iniciales de pH más bajos y de acidez más altos, lo que llevó a que estos parámetros estén fuera del rango establecido antes de cumplir 45 días de almacenamiento.

**Tabla 3.8 Resultados fisicoquímicos receta #3**

Día	T° Almacenamiento: 10 °C			T° Almacenamiento: 26 °C			T° Almacenamiento: 30 °C		
	pH	Acidez	Brix	pH	Acidez	Brix	pH	Acidez	Brix
1	6.66	0.1314	21.63	6.66	0.1314	21.7	6.66	0.1314	21.60
7	6.66	0.1320	21.69	6.65	0.1324	21.60	6.65	0.1325	21.60
14	6.64	0.1328	21.66	6.64	0.1337	21.60	6.63	0.1339	21.57

21	6.64	0.1333	21.59	6.63	0.1343	21.62	6.62	0.1346	21.62
28	6.63	0.1339	21.64	6.61	0.1352	21.57	6.59	0.1362	21.59
35	6.63	0.1343	21.70	6.60	0.1360	21.55	6.57	0.1367	21.60
42	6.63	0.1350	21.66	6.59	0.1368	21.63	6.56	0.1373	21.58
45	6.62	0.1352	21.55	6.58	0.1373	21.62	6.55	0.1377	21.54

Fuente: Autor

Con los resultados obtenidos, se descarta la receta #3 por no cumplir con los parámetros fisicoquímicos de pH y acidez.

El aumento de la acidez se podría asociar a la afectación de las  $\beta$ -lactoglobulinas por la desnaturalización de las proteínas causada por la exposición a altas temperaturas (Tornadijo et al., 1998), que en este caso es la receta con mayor temperatura (121.5 °C), mientras que la precipitación de fosfato de calcio y degradación de la lactosa forman ácidos orgánicos que disminuyen el pH (Martinez-Castro et al., 1986). La temperatura de esterilización afecta directamente al fosfato y al calcio, precipitándolos en una fase coloidal (Hardy et al., 1984). La porción del material soluble aumenta como resultado de una proteólisis inducida por el calor ocasionando una disminución del pH (Pyne & McGann, 1960). Cualquier tratamiento térmico al que sea expuesto la leche, ya sea para esterilización o concentración, hará que el pH disminuya (Bienvenue et al., 2003).

### 3.4 Características sensoriales

En las Tabla 3.9, 3.10 y 3.11 se puede observar un promedio de los resultados obtenidos en cada sesión de estabilidad sensorial de la intensidad de cada atributo de las muestras correspondientes a las recetas #1, #2 y #3. Con estos resultados se realizó un perfilamiento sensorial para el producto obtenido de las diferentes recetas.

**Tabla 3.9 Estabilidad sensorial receta #1**

Atributo	1 día	7 días	14 días	21 días	28 días	35 días	42 días	45 días
Apariencia	6	6	5	5	5	4.5	4.5	4
Creмосidad	6.5	6.5	6	5.25	5.25	5	5	5
Aroma	4	4	4	4	3.5	3.5	3.5	3
Sabor	4	3.5	3.5	3.5	3	3	3	3

Fuente: Autor

**Tabla 3.10 Estabilidad sensorial receta #2**

Atributo	1 día	7 días	14 días	21 días	28 días	35 días	42 días	45 días
Apariencia	6	6	6	5.5	5.5	5.25	5.25	5
Creмосidad	7	7	7	6.5	6.5	6.5	6	6
Aroma	5.5	5.5	5.5	5	5	5	4.5	4
Sabor	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.5	5.5	5.25

Fuente: Autor

**Tabla 3.11 Estabilidad sensorial receta #3**

Atributo	1 día	7 días	14 días	21 días	28 días	35 días	42 días	45 días
Apariencia	2	2	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5
Creмосidad	2.5	2.5	2.25	2	1.75	1.75	1.5	1.25
Aroma	7	7	7	6.5	6.5	6.5	6	6
Sabor	8	8	7.5	7.5	7.25	7.25	7	7

Fuente: Autor



Las tablas 3.13, 3.14 y 3.15 presentan el resultado del perfilamiento sensorial para cada receta, con la descripción de cada atributo sensorial a partir de lo descrito en la ficha sensorial del producto con una sola esterilización (tabla 3.12), interpretando la calificación obtenida de la escala de intensidad y haciendo énfasis en los términos que hacen referencia a los cambios en las intensidades percibidas en los atributos de las muestras con doble esterilización.

**Tabla 3.12 Perfil sensorial patrón**

<b>Atributo sensorial</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Descripción</b>
Apariencia	5.4	Líquido fluido <b>medianamente</b> espeso con ligera formación de anillo de avena en parte inferior
Creмосidad	6.3	<b>Intensidad media alta</b> en cremosidad.
Aroma	5.0	A leche condensada con notas de <b>intensidad media</b> a vainilla.
Sabor	5.0	Avena con sabor de <b>intensidad media</b> dulce con notas a leche condensada y ligeras notas de sabor vainilla.

Fuente: Autor

**Tabla 3.13 Perfilamiento sensorial receta #1**

<b>Atributo sensorial</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Descripción</b>
Apariencia	5.0	Líquido fluido <b>medianamente</b> espeso con ligera formación de anillo de avena en parte inferior
Creмосidad	5.6	<b>Intensidad media</b> en cremosidad.
Aroma	3.7	A leche condensada con notas <b>media baja</b> a vainilla.
Sabor	3.3	Avena con sabor dulce de <b>intensidad media baja</b> , con notas a leche condensada y ligeras notas de sabor vainilla.

Fuente: Autor

**Tabla 3.14 Perfilamiento sensorial receta #2**

<b>Atributo sensorial</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Descripción</b>
Apariencia	5.6	Líquido fluido <b>medianamente</b> espeso con ligera formación de anillo de avena en parte inferior
Creмосidad	6.6	<b>Intensidad media alta</b> en cremosidad.
Aroma	5.0	A leche condensada con notas de <b>intensidad media</b> a vainilla.
Sabor	5.6	Avena con sabor de <b>intensidad media</b> dulce con notas a leche condensada y ligeras notas de sabor vainilla.

Fuente: Autor

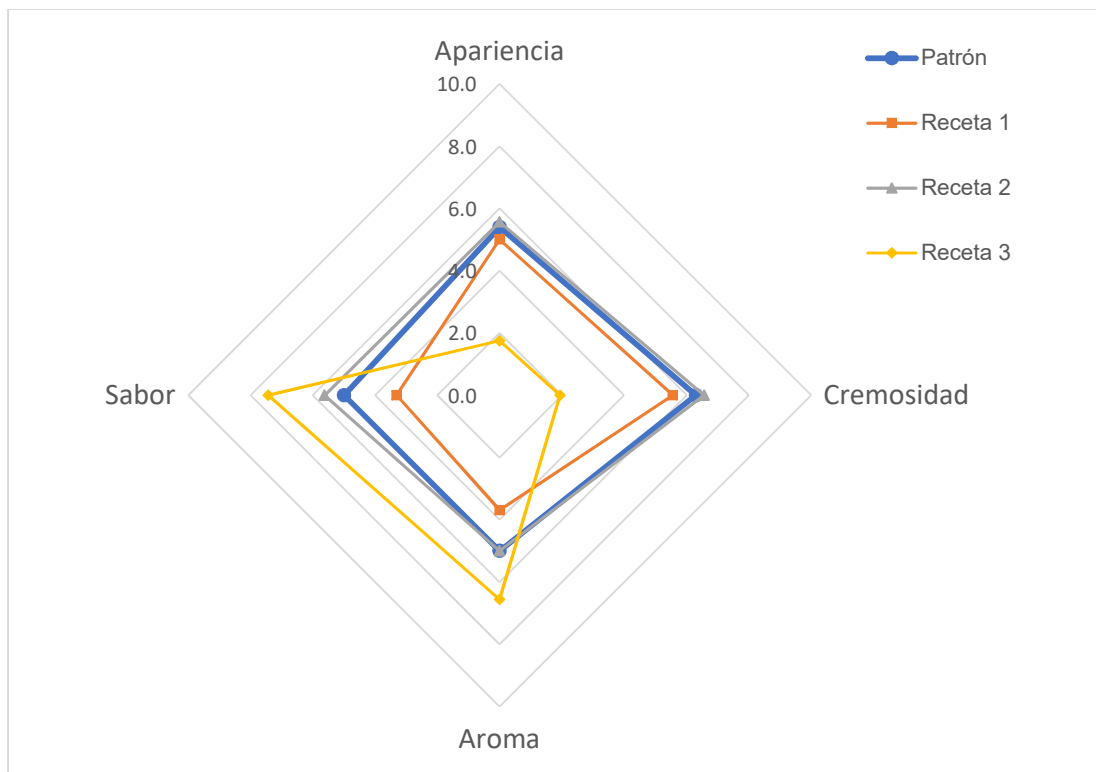
**Tabla 3.15 Perfilamiento sensorial receta #3**

<b>Atributo sensorial</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Descripción</b>
Apariencia	1.8	Líquido fluido <b>ligeramente espeso</b> con ligera formación de anillo de avena en parte inferior
Creмосidad	1.9	<b>Intensidad baja</b> en cremosidad.
Aroma	6.6	A leche condensada con notas <b>media alta</b> a vainilla.
Sabor	7.4	Avena con sabor de <b>intensidad media alta</b> dulce con notas a leche condensada y ligeras notas de sabor vainilla.

Fuente: Autor

A partir de los resultados del perfilamiento sensorial se realizó un gráfico radial (figura 3.4) para comparar los resultados con el perfil de la muestra patrón. La receta #3 es la que presentó el perfil con mayor diferencia respecto al patrón, con valores de intensidad menor en los atributos de apariencia y textura y mayores en sabor y aroma. Con este resultado se confirma el descarte de la receta #3.

La receta #2 es la que mejor se ajusta al perfil de la muestra patrón en los atributos de sabor, aroma, cremosidad y apariencia; por lo tanto, se escogió esta receta como la mejor opción para la bebida láctea de avena.



**Figura 3.4 Resultados de atributos sensoriales a 10°C**

Fuente: Autor

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES

1. Las 3 recetas analizadas presentan el mismo comportamiento reológico que la muestra patrón, sin embargo, la receta que obtuvo valores de viscosidad, bajo las mismas condiciones de análisis, más cercanos a la muestra patrón es la receta #1, seguido de la receta #2 y #3.
2. Las muestras almacenadas a 10, 26 y 30 °C tratadas con la receta #2 mantuvieron las características fisicoquímicas de pH, brix y acidez dentro de los rangos establecidos durante 45 días de control.
3. El perfil sensorial del producto proveniente de la receta #2 es el que presentó mayor similitud al patrón sensorial para los atributos de apariencia, aroma, sabor y cremosidad.
4. Se demostró que la receta #2 para el segundo tratamiento de esterilización es la que atribuye y cumple con las características reológicas, fisicoquímicas y sensoriales idóneas para el producto, con la ventaja que el producto puede ser distribuido en refrigeración o al ambiente sin afectar sus características.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Testing Material. (2014). Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield type) Viscometer. *ASTM*, 43(557), 1–5. <https://doi.org/10.1520/D2196-10.2>
- Anton Paar. (2019). *RheolabQC Reómetro rotacional de Control de Calidad*. 1–6. <http://www.anton-paar.com/?eID=documentsDownload&document=53547&L=15>
- Badui, S. (2006). Salvador Badui Dergal. In *Química de los alimentos*.
- Bienvenue, A., Jiménez-Flores, R., & Singh, H. (2003). Rheological properties of concentrated skim milk: Importance of soluble minerals in the changes in viscosity during storage. *Journal of Dairy Science*, 86(12), 3813–3821. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73988-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73988-5)
- Carus, A. G., Walls, I. C., Moreno, E. R., Alonso, P. R., Gaspar, T. V., Torres, J. M. Á., & Moreiras, G. V. (2017). *Propiedades nutricionales de la avena*.
- Ciro Velásquez, H. J. (2006). Reología de fluidos y su aplicación en el área de los alimentos. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA- SEDE MEDELLIN*, 88. <http://bdigital.unal.edu.co/57124/1/hectorjosecirovelasquez.2006.pdf>
- Hardy, E. E., Donald Muir, D., Maurice Sweetsur, A. W., & West, I. G. (1984). Changes of Calcium Phosphate Partition and Heat Stability During Manufacture of Sterilized Concentrated Milk. *Journal of Dairy Science*, 67(8), 1666–1673. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81490-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81490-3)
- INEN. (1985). *NTE INEN 381: Conservas Vegetales, Determinacion de Acidez Titulable, Metodo Potenciométrico de Referencia*. 1–8. <https://181.112.149.204/buzon/normas/381.pdf>
- INEN. (2010). NTE INEN 708 Leche fluida con ingredientes. *Fe de Erratas, II*, 1–13.
- Liria Domínguez, M. R. (2007). Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. *Instituto de Investigación Nutricional–IIN Consultora-AgroSalud*, 2–45. [www.iin.sld.pe](http://www.iin.sld.pe)
- Lopez, M. D. (2012). *Validacion fisica y biologica de tratamientos termicos aplicados en un reactor prototipo para la industria alimentaria*.
- Martinez-Castro, I., Olano, A., & Corzo, N. (1986). Modifications and interactions of lactose with mineral components of milk during heating processes. *Food Chemistry*, 21(3), 211–221. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0308-8146\(86\)90019-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0308-8146(86)90019-1)
- Moreiras Tuni, O., Carbajal, Á., Cabrera Forneiro, L., & Cuadrado Vives, C. (2015). *Tablas de composición de alimentos. 17th edicion*. Piramide. [https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas\\_de\\_composicion\\_de\\_alimentos.pdf](https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas_de_composicion_de_alimentos.pdf)
- Mundi, I. (2021). *Tasa de crecimiento anual acumulativo*.

<http://unizar.es/geoatlas/GLOSARIO/216.htm>

- Prentice, J. H. (1992). *Dairy rheology : a concise guide*. New York (N.Y.): VCH.  
<http://lib.ugent.be/catalog/rug01:001994321>
- Pyne, G. T., & McGann, T. C. A. (1960). The colloidal phosphate of milk: II. Influence of citrate. *Journal of Dairy Research*, 27(1), 9–17.  
<https://doi.org/10.1017/S0022029900010074>
- Ramírez, J. (2006). *Fundamentos de Reología de Alimentos*.
- Rodríguez-Sandoval, E., Sandoval-Aldana, a., & Fernández-Quintero, a. (2007). Evaluation of Starch Retrogradation in Cassava Flour From Precooked Parenchyma. *Revista Colombiana ...*, 36(1), 13–30.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042007000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042007000100002&script=sci_arttext)
- Rodriguez, F. (2012). *Ingeniería de la industria alimentaria* (III). Editorial Sintesis.
- Sharoba, A. M., Senge, B., El-Mansy, H. A., Bahlol, H. E., & Blochwitz, R. (2005). Chemical, sensory and rheological properties of some commercial German and Egyptian tomato ketchups. *European Food Research and Technology*, 220(2), 142–151. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0981-7>
- Singh, P., & Heldman, D. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*.
- Stover, C., & Engineering, C. (2004). *Effect of Corn Stover Concentration on Rheological Characteristics*. 113(2).
- Tornadijo, M. E., Marra, A. I., García, M. C., Prieto, B., & Caraballo, J. (1998). La calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 2(2), 79–91.  
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tcyt19>  
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tcyt19>
- Varma, P., Bhankharia, H., & Bhatia, S. (2016). Oats: A multi-functional grain. *Journal of Clinical and Preventive Cardiology*, 5(1), 9. <https://doi.org/10.4103/2250-3528.183984>
- Walstra, P., & Jenness, R. (1984). *Dairy chemistry and physics*. John Wiley and Sons.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### RESULTADOS DE VISCOSIDAD

Velocidad de cizallamiento [1/s]	Patrón			Receta #1			Receta #2			Receta #3		
	Viscosidad [mPa·s]			Viscosidad [mPa·s]			Viscosidad [mPa·s]			Viscosidad [mPa·s]		
	10°C	26°C	30°C	10°C	26°C	30°C	10°C	26°C	30°C	10°C	26°C	30°C
1	1009.9	1099.6	681.1	1122.0	526.2	401.1	798.7	347.5	295.8	1095.3	400.8	263.3
2	965.8	1081.3	587.8	962.8	495.5	355.4	723.5	326.5	260.8	847.4	385.7	249.1
3	916.7	889.0	466.4	878.9	409.3	294.4	703.9	303.8	235.0	694.7	383.6	241.5
4	859.3	692.1	422.5	838.8	374.4	234.4	633.2	299.7	222.5	632.6	360.4	234.3
5	790.1	621.7	364.5	744.0	350.5	222.6	613.9	293.5	216.9	588.8	341.7	227.4
6	725.1	543.0	321.9	626.3	326.8	212.7	582.4	271.2	212.1	556.7	311.6	219.7
7	643.0	457.7	275.5	557.2	319.8	204.2	547.6	269.3	202.8	532.4	289.9	212.3
8	598.2	425.1	254.0	540.2	306.8	203.2	537.8	265.5	200.7	505.8	276.9	208.9
9	572.5	392.2	230.3	527.8	300.3	201.5	499.3	253.1	198.7	492.8	264.7	204.8
10	<b>548.0</b>	<b>387.7</b>	<b>221.1</b>	<b>515.5</b>	<b>289.1</b>	<b>197.2</b>	<b>483.3</b>	<b>250.9</b>	<b>197.6</b>	<b>473.5</b>	<b>260.4</b>	<b>200.6</b>
11	512.3	372.3	207.1	500.6	279.4	189.3	461.0	246.3	195.0	467.6	254.2	195.2
12	528.9	364.4	198.2	486.9	259.7	186.2	469.1	235.6	191.1	442.9	249.6	192.6
13	513.5	357.9	192.7	467.7	242.3	180.6	455.2	225.2	189.5	428.3	245.4	184.8
14	474.6	351.5	186.4	442.8	237.0	180.7	440.2	216.7	180.2	428.2	237.0	181.8
15	473.9	347.8	182.5	425.4	229.5	176.9	411.4	216.6	176.8	410.2	222.6	180.9
16	467.4	331.7	181.6	416.8	226.4	174.0	404.3	216.5	172.3	397.0	214.9	176.9
17	463.4	319.4	179.4	404.8	231.9	177.4	390.6	212.2	172.9	387.4	214.4	171.6
18	460.4	313.2	172.0	396.8	221.8	166.6	385.8	211.6	168.1	378.4	210.2	168.9
19	453.0	311.7	171.8	392.3	217.3	165.5	375.6	210.5	167.2	383.2	206.4	168.8
20	440.9	309.2	171.6	380.8	213.5	161.6	375.9	203.5	164.0	362.9	200.8	163.7
21	436.4	294.7	171.5	375.4	218.8	165.2	365.5	200.1	162.2	357.1	198.5	160.5
22	431.1	288.5	168.2	375.1	213.0	166.5	357.4	199.0	159.0	352.8	193.6	158.2
23	425.1	288.2	166.7	366.3	211.0	156.6	350.1	198.7	158.7	347.7	191.6	157.8
24	424.0	284.5	166.3	353.5	205.1	155.6	353.7	193.4	156.4	347.7	190.8	157.5
25	416.1	284.2	166.1	355.0	201.7	151.7	340.2	188.8	151.1	335.9	189.2	153.9
26	415.2	282.3	164.0	342.9	205.7	161.7	333.1	188.0	158.9	327.8	185.5	153.1
27	411.9	280.9	162.9	353.3	198.6	152.6	330.5	186.7	156.1	333.0	185.1	152.5
28	408.8	280.0	162.7	334.7	193.6	148.6	340.2	186.4	152.4	323.2	184.0	152.4
29	401.8	277.7	161.3	332.6	189.8	152.3	324.1	184.8	147.6	320.9	182.2	151.3
30	396.3	276.9	160.7	330.9	195.6	150.8	316.4	183.3	151.2	313.4	178.9	150.8
31	396.0	272.9	160.0	333.5	187.5	148.2	322.3	182.4	149.3	319.0	177.2	146.2
32	390.6	272.7	159.8	321.4	190.4	143.7	319.1	179.2	143.5	307.7	177.1	144.0
33	385.9	265.7	159.4	321.4	188.4	152.9	306.3	178.1	143.6	305.0	174.4	142.9
34	373.9	265.6	159.2	317.3	183.4	142.6	315.4	176.2	147.3	302.8	173.6	142.8
35	369.6	258.8	154.8	311.5	183.6	143.1	304.1	176.0	138.4	303.0	172.1	140.5
36	368.7	258.2	154.6	306.3	184.4	149.0	300.2	175.8	143.2	294.5	171.1	140.5
37	368.0	254.8	154.2	316.3	177.0	139.8	301.3	170.9	141.6	293.6	169.2	139.8

38	365.4	254.3	153.0	301.1	178.2	141.2	297.4	170.9	136.3	290.8	168.7	139.4
39	365.0	249.5	152.5	300.5	180.6	141.6	290.6	170.8	139.8	285.7	167.3	138.2
40	362.6	248.8	152.3	299.0	173.3	139.2	293.5	169.3	136.7	291.3	165.7	138.2
41	360.5	245.7	151.9	294.9	174.9	142.7	288.5	169.1	138.3	281.7	163.5	138.2
42	354.6	237.8	151.8	299.9	175.0	136.1	289.5	168.1	140.1	280.7	162.7	137.8
43	354.0	236.1	150.2	292.8	173.2	136.5	283.4	165.3	131.7	279.1	160.8	137.7
44	353.2	233.4	149.6	293.7	173.8	143.2	283.1	164.8	133.2	278.0	160.6	135.7
45	352.7	233.2	148.9	283.0	170.0	135.9	294.0	164.6	136.6	279.3	160.3	135.3
46	351.0	233.1	146.8	284.7	170.4	138.0	273.4	162.8	133.9	273.1	159.8	134.2
47	346.7	232.8	146.7	288.2	165.7	134.2	280.0	162.3	133.8	275.6	159.6	131.9
48	345.3	231.7	146.3	281.0	166.9	138.5	272.2	161.0	133.5	270.0	158.7	131.4
49	344.1	229.3	145.9	283.7	164.8	133.0	279.7	160.9	134.4	269.3	156.8	131.4
50	339.2	227.8	145.9	279.0	165.3	133.1	268.3	159.9	131.3	263.4	156.4	131.4
51	334.6	225.5	145.2	285.1	163.3	130.8	268.8	157.5	133.2	263.1	154.2	130.7
52	332.8	224.1	144.6	278.5	160.6	133.0	263.5	156.8	128.7	262.0	153.5	129.5
53	325.0	217.9	144.6	281.1	161.2	132.2	267.7	156.5	129.9	264.5	152.7	128.8
54	323.8	217.4	143.1	270.9	160.6	133.7	261.9	155.3	129.5	261.0	152.3	128.0
55	323.7	216.5	142.3	272.3	159.4	130.2	268.2	154.6	130.0	261.0	151.5	127.7
56	324.9	214.7	141.5	266.7	161.1	133.2	259.7	154.5	129.2	255.8	151.2	127.6
57	322.8	213.2	141.5	265.2	158.2	129.0	267.6	154.0	129.9	259.7	150.7	126.9
58	320.4	212.8	140.4	264.0	161.1	133.1	256.4	153.3	126.7	253.6	149.8	125.8
59	320.3	211.9	139.8	261.3	158.5	129.5	263.3	152.8	124.1	253.4	149.7	124.7
60	317.2	209.6	139.6	266.4	160.1	131.7	255.9	151.8	124.7	249.2	149.2	124.4
61	316.7	209.4	139.3	262.8	157.1	128.6	254.5	151.6	122.5	248.1	147.5	124.0
62	313.1	207.7	138.5	264.2	154.9	127.0	255.7	149.5	127.6	249.1	146.9	123.8
63	311.0	207.6	138.2	260.4	156.7	129.0	249.1	149.0	124.0	247.8	146.6	123.6
64	315.5	206.6	137.3	255.6	154.6	127.8	256.1	148.4	122.9	247.4	146.5	123.2
65	315.1	205.6	137.1	259.4	156.4	129.2	250.5	147.8	123.3	243.5	146.0	121.9
66	310.9	204.2	136.8	255.9	153.9	128.3	248.3	147.4	122.8	242.9	145.3	121.8
67	310.0	203.9	136.6	253.3	152.1	126.6	253.2	147.3	124.9	246.5	143.5	121.8
68	309.0	201.9	135.9	253.4	154.2	130.8	247.6	146.9	121.1	244.4	142.4	121.2
69	306.8	200.7	135.6	252.8	151.6	128.4	245.9	145.6	119.4	243.7	142.0	121.1
70	305.6	200.3	135.4	252.1	149.6	125.8	245.8	145.5	121.8	245.6	141.7	120.8
71	305.3	199.4	135.1	254.4	151.4	127.8	240.9	144.9	118.5	240.8	141.2	120.1
72	304.2	198.3	134.7	251.3	149.7	125.5	238.9	144.2	118.1	238.1	140.4	118.6
73	303.5	196.5	134.4	247.6	148.7	124.9	245.6	144.2	119.7	238.7	140.3	118.4
74	302.9	196.1	133.9	250.1	150.4	125.9	241.3	143.8	119.3	236.1	140.2	118.3
75	300.3	195.0	133.8	246.8	148.8	126.2	237.9	143.6	119.1	237.7	139.7	118.3
76	298.6	193.5	133.2	247.4	147.3	124.6	237.7	141.4	115.4	237.4	139.2	117.8
77	296.1	193.1	132.8	246.9	145.4	123.1	238.4	141.3	118.5	235.6	138.4	117.6
78	295.1	192.4	132.6	245.1	147.9	125.1	237.0	141.1	118.3	232.4	137.4	117.2
79	294.8	192.3	132.5	243.1	145.6	124.5	235.0	141.1	118.1	233.6	137.3	116.6
80	294.5	192.0	131.8	242.9	145.1	123.1	233.5	140.9	114.0	233.1	137.1	116.5
81	294.3	191.4	131.4	241.2	145.0	121.9	236.5	139.6	117.3	232.4	136.1	116.1
82	293.9	189.8	131.1	243.2	145.9	123.4	234.2	139.4	116.5	232.4	135.5	115.3

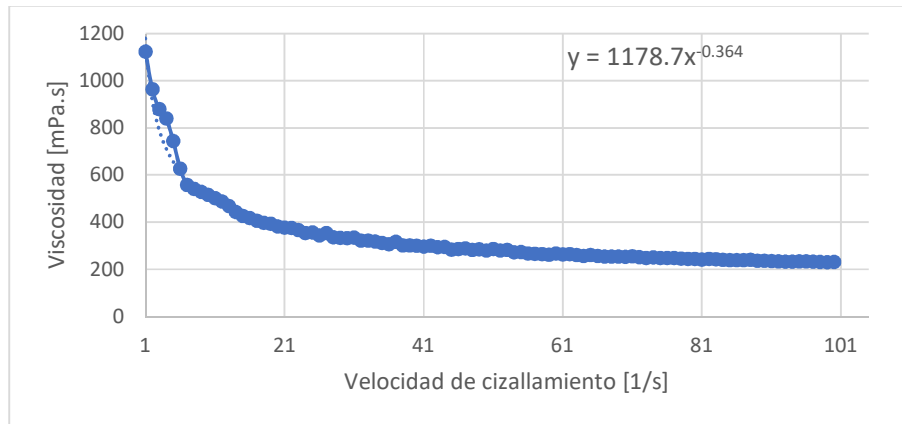


83	292.7	188.9	131.1	242.0	145.0	123.5	231.5	139.2	115.6	229.5	135.5	115.0
84	290.2	188.9	130.5	239.4	144.5	122.1	230.4	139.0	115.7	227.5	135.5	114.8
85	287.5	188.6	129.7	238.2	143.6	122.6	231.8	138.7	113.2	230.3	135.2	114.8
86	285.5	188.3	129.0	237.8	141.1	122.3	231.1	138.4	113.6	229.1	135.1	114.5
87	285.4	188.2	128.2	238.4	142.1	120.8	229.7	138.1	115.7	227.3	133.8	114.3
88	284.3	188.1	128.0	239.5	142.5	122.1	228.0	138.1	114.2	228.0	133.4	113.4
89	277.7	187.6	127.9	235.9	142.5	122.1	227.2	135.6	114.4	224.1	133.3	113.4
90	285.3	186.8	127.3	235.0	140.6	120.5	226.1	135.6	113.0	224.7	132.8	112.5
91	281.7	186.3	126.3	234.4	140.6	120.0	225.6	135.3	112.6	223.4	132.5	112.2
92	293.4	186.2	125.8	233.2	140.4	120.3	227.0	135.1	111.6	225.2	132.3	112.1
93	291.2	185.4	125.6	232.4	138.8	119.7	226.0	134.6	112.3	223.2	131.4	112.1
94	291.1	185.0	125.5	231.9	138.5	119.5	225.8	134.5	113.7	224.3	131.3	111.8
95	286.4	184.1	125.5	232.6	138.5	118.6	223.8	134.5	113.2	222.5	131.1	111.8
96	281.3	182.5	125.4	233.2	138.9	118.9	223.2	134.4	112.5	223.3	131.0	111.7
97	284.0	182.3	125.2	231.2	139.1	118.5	223.2	134.2	113.4	220.2	131.0	111.5
98	275.4	181.6	124.9	231.0	138.9	119.1	221.3	133.4	113.1	220.5	129.9	110.8
99	276.4	177.3	124.0	229.5	139.2	119.1	221.5	133.4	112.8	219.3	128.7	110.5
100	<b>273.0</b>	174.7	122.4	<b>230.3</b>	137.7	118.6	<b>220.6</b>	132.7	112.8	<b>217.7</b>	127.7	110.1

Fuente: Autor

## ANEXO B

### GRÁFICAS VISCOSIDAD VS VELOCIDAD DE CIZALLAMIENTO Y ECUACIONES

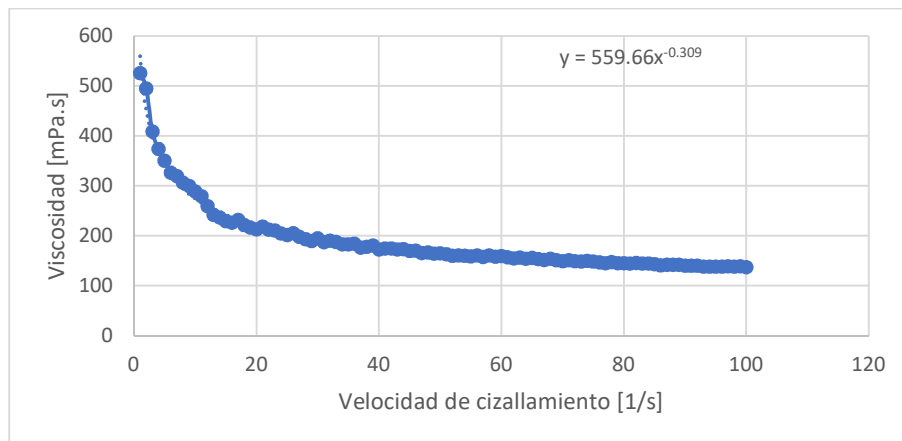


**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #1 a T=10°C**

Fuente: Autor

Con la ecuación, se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son 0.636 y 1178.7 mPa.s respectivamente.

$$y = 1178.7x^{-0.364}$$

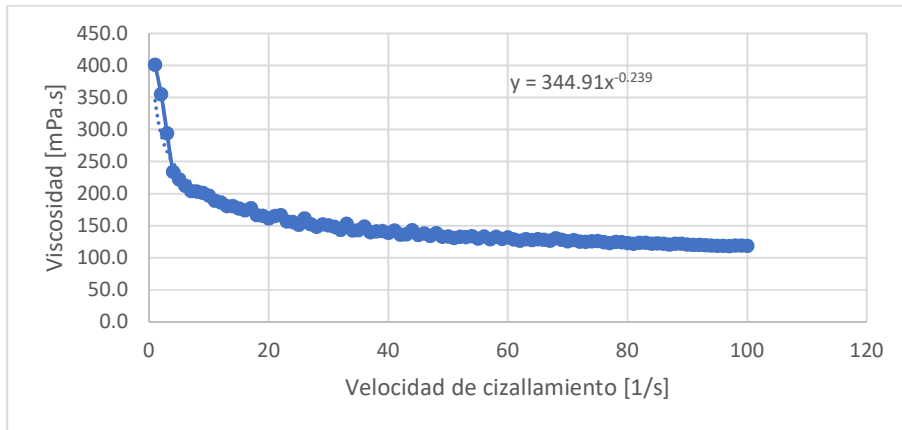


**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #1 a T=26°C**

Fuente: Autor

Con la ecuación, se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son 0.691 y 559.66 mPa.s respectivamente.

$$y = 559.66x^{-0.309}$$

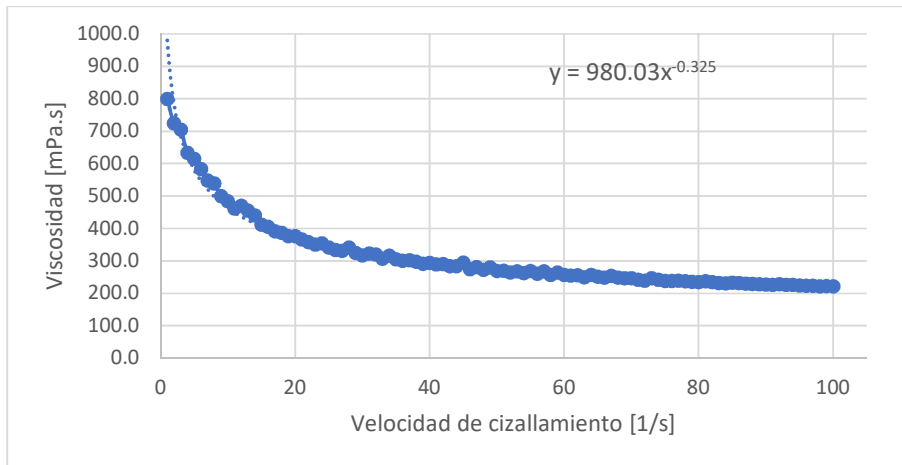


**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #1 a T=30°C**

Fuente: Autor

Con la ecuación, se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son es 0.761 y 344.91 mPa.s respectivamente

$$y = 344.91x^{-0.239}$$

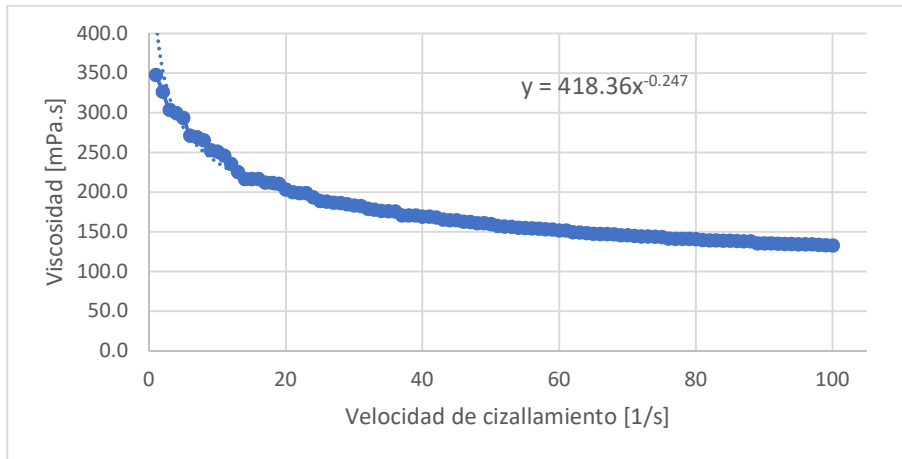


**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #2 a T=10°C**

Fuente: Autor

Con la ecuación, se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son es 0.675 y 980.03 mPa.s respectivamente.

$$y = 980.03x^{-0.325}$$

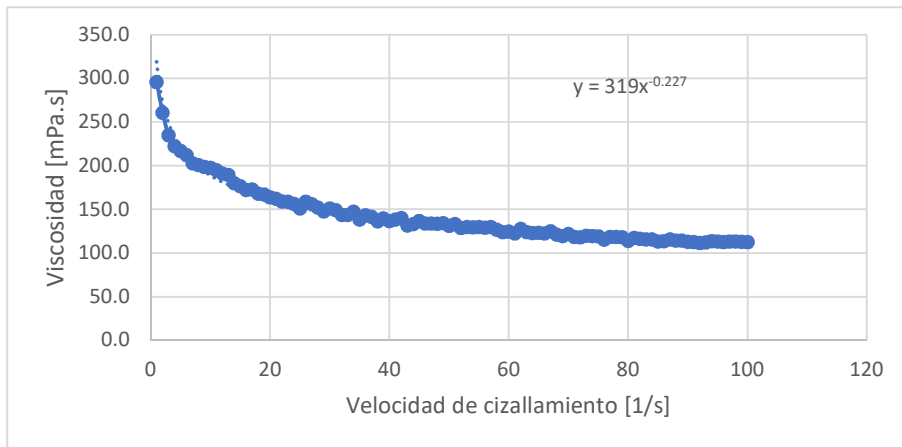


**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #2 a T=26°C**

Fuente: Autor

Con la ecuación, se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son es 0.753 y 418.36 mPa.s respectivamente

$$y = 418.36x^{-0.247}$$

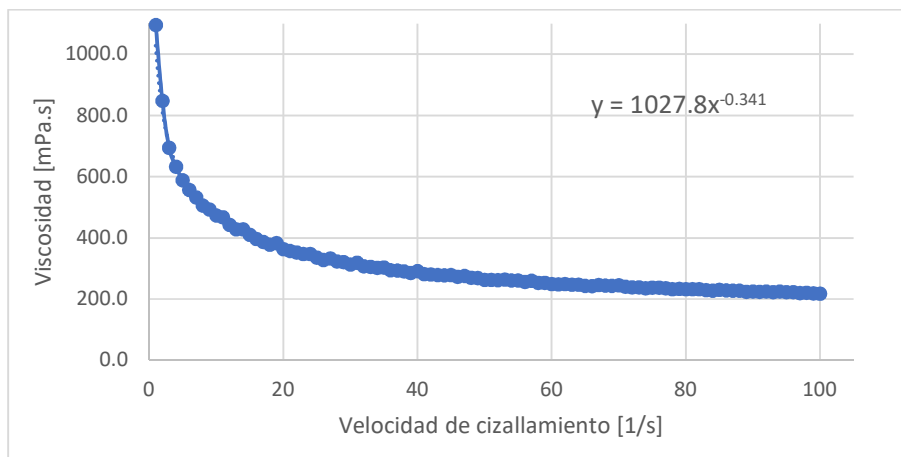


**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #2 a T=30°C**

Fuente: Autor

Con la ecuación, se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son es 0.773 y 319 mPa.s respectivamente.

$$y = 319x^{-0.247}$$

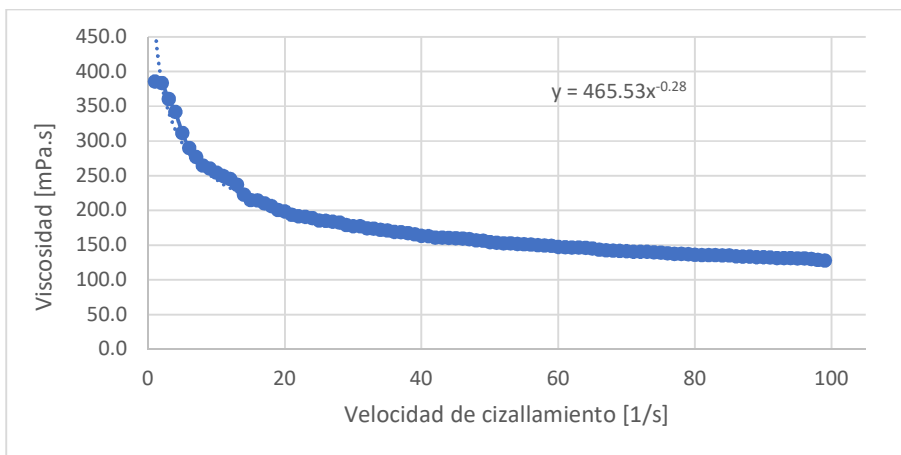


**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #3 a T=10°C**

Fuente: Autor

Con la ecuación (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.3.7), se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son es 0.659 y 1027.8 mPa.s respectivamente

$$y = 1027.8x^{-0.341} \quad (3.7)$$

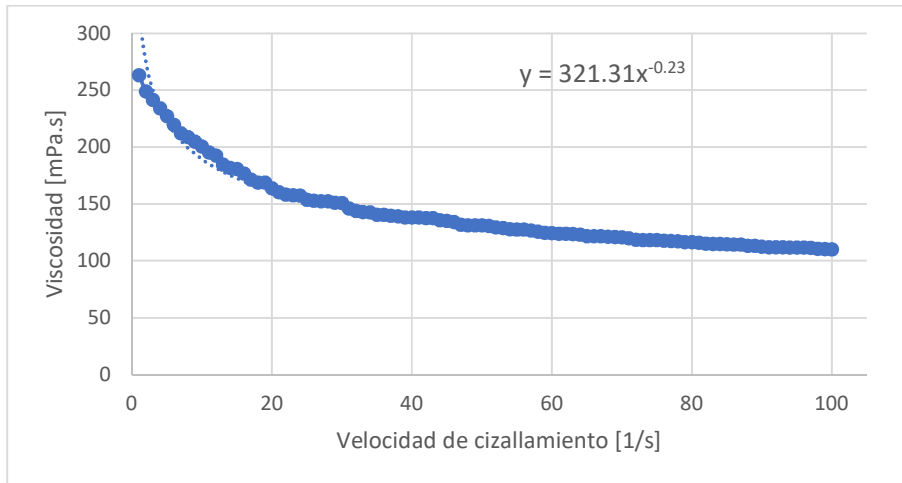


**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #3 a T=26°C**

Fuente: Autor

Con la ecuación, se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son es 0.72 y 465.53 mPa.s respectivamente.

$$y = 465.53x^{-0.28}$$



**Figura. Curva de viscosidad vs velocidad de cizallamiento para receta #3 a T=30°C**

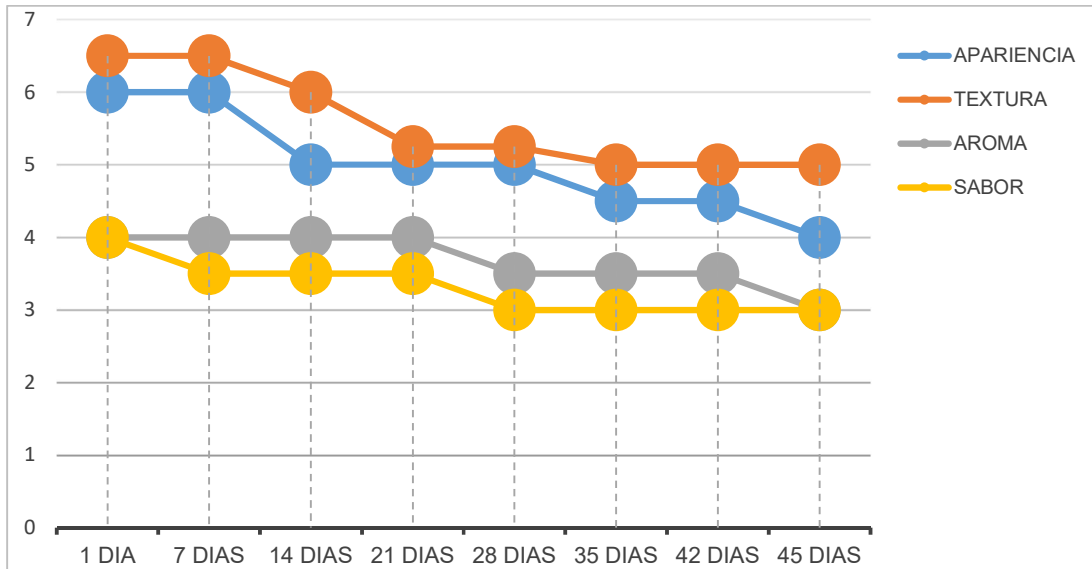
Fuente: Autor

Con la ecuación  $y = 321.31x^{-0.23}$ , se determinó que los valores del índice del comportamiento de flujo y el índice de consistencia son 0.77 y 321.31 mPa.s respectivamente.

$$y = 321.31x^{-0.23}$$

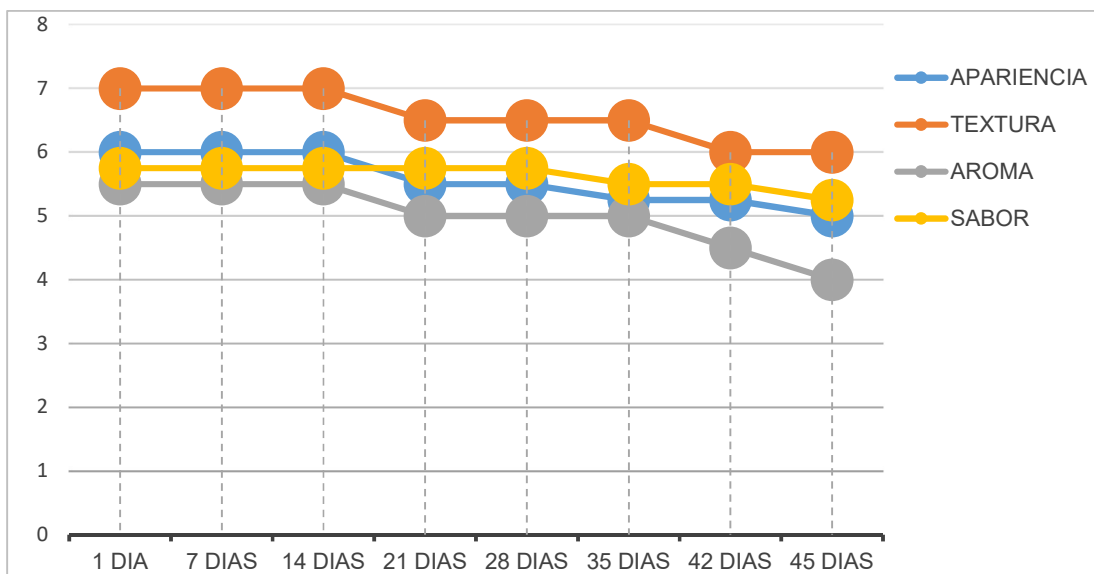
## ANEXO C

### ESTABILIDAD SENSORIAL



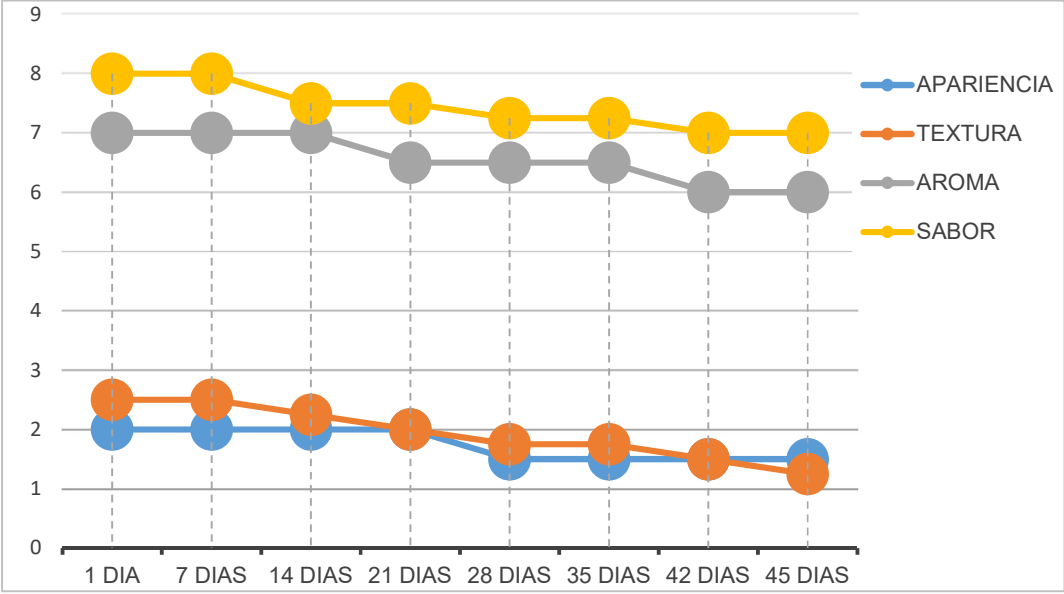
**Figura. Comportamiento de atributos durante estabilidad sensorial receta #1**

Fuente: Autor



**Figura. Comportamiento de atributos durante estabilidad sensorial receta #2**

Fuente: Autor



**Figura. Comportamiento de atributos durante estabilidad sensorial receta #3**

Fuente: Autor