

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



---

**“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y CARACTERÍSTICAS  
SENSORIALES DE YOGURT A BASE DE LACTOSUERO DULCE CON  
LECHE EN POLVO Y PULPA DE LÚCUMA (*pouteria obavata*)”**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**TESISTAS:** - Bach. CALDERON LAVADO, Ziegler Gim  
- Bach. GUERRA SANTIAGO, William Collins

**ASESOR:** Dr. Angel David NATIVIDAD BARDALES

**HUÁNUCO - PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, en especial a mis padres por ser un ejemplo de sacrificio y dedicación, por su apoyo incondicional en todo momento.

A esa persona especial, quien de una u otra forma me supo brindar su apoyo.

A mi madre, para quien va dedicado todo este esfuerzo porque ha sido mi ejemplo a seguir, me ha brindado toda su comprensión y cariño en toda mi vida de estudiante.

A dios por la sabiduría con la cual me guio, para terminar el presente trabajo, fruto de tanto esfuerzo y estudio constante para así culminar una de las metas propuestas en mi vida profesional.

**Gim y William**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por ser guía espiritual y permitirnos culminar esta etapa de nuestra vida.

A nuestros padres quienes con su apoyo y comprensión incondicional nos guiaron en el transcurso de nuestra carrera logrando alcanzar un objetivo más en nuestras vidas.

A la Universidad Nacional Hermilio Valdizán y a la comedia profesional de Ingeniería Agroindustrial en Ciencias Agrarias pilar fundamental del desarrollo personal y profesional.

De manera especial al Dr. Ángel David Natividad Bardales, asesor de tesis y demás docentes quienes compartieron sus conocimientos para guiarnos en el desarrollo y culminación de nuestra tesis.

Y a todos los amigos/as que nos colaboraron con ideas y nos brindaron su apoyo en los momentos requeridos.

**Gim y William**

# Índice

RESUMEN .....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Fundamentación teórica.....	5
2.1.1. Generalidades de lúcuma.....	5
2.1.2. Generalidades de leche en polvo .....	8
2.1.3. Generalidades de lactosuero.....	12
2.1.4. Generalidades de yogurt .....	18
2.1.3. Generalidades de reología .....	28
2.2. Antecedentes .....	32
2.3. Hipótesis .....	38
2.4. Variables.....	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
3.1. Lugar de ejecución.....	41
3.2. Tipo y nivel de investigación.....	41
3.3. Población, muestra y unidad de análisis.....	42
3.4. Tratamiento en estudio.....	42
3.5. Prueba de hipótesis.....	43
3.5.1. Diseño de la investigación.....	44
3.5.2. Datos a registrados .....	45
3.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de la información.....	45
3.6. Materiales y equipos .....	46
3.7. Conducción de la investigación .....	47
3.7.2. Caracterización físico-químico del lactosuero, pulpa de lúcuma.....	52
3.7.4. Evaluación sensorial .....	55
3.7.5. Evaluación de las propiedades reológicas del yogurt obtenido.....	55
IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	56
V. DISCUSIÓN .....	79
VI. CONCLUSIONES .....	83
VII. RECOMENDACIONES .....	84
XIII. LITERATURA CITADA.....	85
ANEXOS.....	89

## RESUMEN

En la actualidad a nivel nacional y regional las empresas están enfocando la determinación de las propiedades reológicas en el diseño y desarrollo de productos, control de calidad, estabilidad en estudio de vida útil del producto. Los objetivos de fueron: determinar la concentración adecuada de leche en polvo y de pulpa de lúcuma a utilizarse en la elaboración del yogurt a base de lactosuero y evaluar las propiedades reológicas y sensoriales del yogurt final obtenido. Se realizaron nueve tratamientos derivados de la interacción de los niveles 8, 10 y 12 % de leche en polvo con los niveles 5, 10 y 15 % de pulpa de lúcuma. El yogur elaborado en base a lactosuero con 8 % de leche en polvo y 15 % de lúcuma, fue el tratamiento con mejor calificación dado por los panelistas. El comportamiento reológico del yogurt obtenido, según tratamientos, corresponde a un fluido no newtoniano de comportamiento reológico característico de los fluidos tipo plástico real, el modelo que mejor se ajustó los datos obtenidos con un  $R^2 = 0,997$ , fue el de modelo Casson, con un índice de consistencia  $K = 0,9278 \text{ Pa s}^{0.5}$ ,  $t_0 = 0.7755 \text{ Pa}$ , representando el mejor ajuste y predicción para el comportamiento reológico del yogurt. Se concluyó que lo más adecuado sensorial y reológicamente en la elaboración de este tipo de yogurt, es utilizar concentraciones iguales o superiores a 8 % de leche en polvo y concentraciones iguales o superiores al 10 % de lúcuma.

**Palabras clave:** viscosidad, índice de consistencia, modelo matemático.

## SUMMARY

At the national and regional level, companies are currently focusing on the determination of rheological properties in the design and development of producers, quality control, stability in the study of the product's useful life. The purposes of the investigation are. Determine the appropriate concentration of powdered milk to be used in the manufacture of yogurt based on whey, Determine the appropriate concentration of lucuma pulp to be used in the preparation of yogurt based on whey and evaluate the rheological properties and sensory characteristics of processed yogurt based on whey with lucuma pulp. Nine treatments were performed where the highest value was treatment 3 with better values and accepted by the panelists. It was determined that the rheological behavior of yogurt for concentrations of 8-12% milk and 5-15% lucuma corresponds to a non-Newtonian fluid of rheological behavior characteristic of real plastic type fluids, the model that best adjusted the data The Casson model was obtained, with a consistency index  $K = 0,9278 \text{ Pa s}^{0.5}$ ,  $t_0=0.7755 \text{ Pa}$  and with the statistical values: correlation coefficient  $R^2_{adj} = 0.997$  and  $MSE = 0.0081$  for a 95% confidence level. It represents the best fit and prediction for the rheological behavior of yogurt, therefore, to obtain a yogurt with a high consistency index, you should work with 10% lucuma and 12% milk. Keywords: viscosity, consistency index, mathematical model

## I. INTRODUCCIÓN

Las empresas tienen el interés por conocer las propiedades reológicas en el diseño y desarrollo de productos, control de calidad, estabilidad en estudio de vida útil que se hace necesario comprender el comportamiento de un yogurt reformulado con la inclusión del suero de quesería, subproducto de la industria láctea y aprovechar su contenido en elementos de alto valor nutritivo (proteínas hidrosolubles, lactosa, vitaminas y sales minerales) en la síntesis de productos químicos, farmacéuticos así como para la industria alimentaria (Johnson y Law, 1999). El consumo de alimentos como yogurt, bebidas y postres se da con mayor auge en los países industrializados y se pronostica el crecimiento continuo de esta demanda, la cual desea el aumento de esperanza de vida, prevalencia frente a enfermedades y es consciente de la fuerte relación entre la salud y la dieta alegre (Del Carmen, 2017). En este sentido, la elaboración de yogurt con inclusión de lactosuero es una alternativa a la sustitución de leche fresca; sin embargo, es evidente que al utilizar el lactosuero se disminuya los sólidos totales de la leche, la misma que afectaría a la coagulación óptima del yogurt, por lo que, se tendría que adicionar leche en polvo para corregir esta disminución de sólidos. Asimismo, la utilización de lactosuero, pueda generar una modificación significativa de las características sensoriales, esta problemática abre un panorama de investigaciones para la utilización de concentraciones de fruta que puedan, por un lado, mejorar el sabor modificado por el lactosuero y, por otro lado, mejorar sus propiedades nutritivas. En este contexto, a nivel de la región Huánuco, específicamente en sus provincias de Dos de Mayo y Lauricocha, existen varias comunidades ganaderas que, de manera artesanal, micro y pequeñas empresas, están dedicadas a la elaboración de quesos y cuyo suero derivado de esta producción no está siendo aprovechado, mas al contrario es considerado como residuo y desechado al medio ambiente, lo que también provoca impactos negativos. La lúcuma, en la región Huánuco puede producirse en grandes cantidades y de buena calidad; sin embargo, aún no se logra tal expectativa, es utilizado en la industria de alimentos por sus aportes de sabor y color característico. Este fruto presenta un elevado valor nutricional, además de ser una gran fuente de carbohidratos, donde se

pueden identificar los carbohidratos no digeribles como la fibra dietaria, la cual es beneficiosa para la salud. Por lo mencionado, representa una alternativa para utilizarlo en la elaboración de yogurt con la utilización de lactosuero. Las consideraciones en torno a la utilización de lactosuero, leche en polvo y pulpa de lúcuma en la elaboración de yogurt, fueron la motivación a la realización de la presente investigación, enfocándonos a determinar las concentraciones de leche en polvo, para corregir los sólidos totales de leche fresca, y de la concentraciones de pulpa de lúcuma para mejorar los atributos sensoriales, de igual forma se consideró importante ver las características reológicas del producto final obtenido. Estamos seguro que, los resultados de este estudio permitirán el aprovechamiento sostenible de lactosuero y brindar una opción a los ganaderos dedicados a la industria láctea a incrementar sus ingresos económicos. En función a los aspectos expuestos, se planteó los siguientes objetivos.

- Determinar la proporción adecuada de leche en polvo y pulpa de lúcuma a utilizarse en la elaboración del yogurt a base de lactosuero
- Evaluar las propiedades reológicas y las características sensoriales del yogurt elaborado a base de lactosuero con pulpa de lúcuma.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Fundamentación teórica

#### 2.1.1. Generalidades de lúcuma

##### Lúcuma

El fruto se desarrolla en las ramas jóvenes, se caracteriza por ser una baya globosa, esférica, cónica que presenta un diámetro de 4 a 30 cm con un ápice apiculado sesgado o depresso. El color de la lúcuma es variable posee tonalidades entre amarillas, naranjas y verdes amarillento. El exocarpo que presenta es delgado de color verde o amarillo bronceado. La pulpa posee tonalidades de color amarillo y anaranjado, la consistencia va a depender del tipo, esta puede ser blanda del tipo Seda o dura del tipo Palo. Su sabor es delicadamente dulce y presenta aromas atractivos constituidos por cien compuestos químicos en cantidades y proporciones extremadamente variables (Balbi, 2003).

Según Brack (1999), realiza las siguientes la clasificación taxonómica de lúcuma

Nombre común	:Lúcuma "lúcuma"
Nombre científico	: <i>Pouteria lúcuma</i> R&L
Orden	: <i>Ebanales</i>
Familia	: <i>Sapotaceae</i>
Género	: <i>Pouteria</i>
Especie	:Lúcuma

##### a. Composición química y valor nutricional de la lúcuma

La lúcuma es una de las frutas que contiene los más altos niveles de proteínas, fluctuando en un rango de 1,5-2,4 gramos por cada 100 gramos de muestra, sólo siendo superado por la palta (4,2 gramos), plátano verde (4 gramos), coco (3,2 gramos) y maracuyá (2,8 gramos). Además, la lúcuma presenta un nivel de carbohidratos significativamente alto por (25 gramos).

Los azúcares presentes en la pulpa son glucosa, fructosa, sacarosa e inositol. Es importante señalar que la fruta verde solamente presenta sacarosa; y a medida que avanza el estado de maduración se incrementa la glucosa, fructosa e inositol. En 100gramos de pulpa madura existen 8,4 gramos de glucosa, 4,7 gramos de fructosa, 1,7 gramos de sacarosa y 0,06 gramos de inositol. En cuanto a las vitaminas, presenta niveles significativos de niacina con 1,96 miligramos /100 gramos de muestra. Se comenta que la lúcuma es una fruta medicinal contra la depresión, por su alto contenido de vitaminas B1, y otras como la tiamina y el niacina. También es importante destacar que la lúcuma contiene minerales como calcio, fósforo y hierro. Con respecto a los pigmentos, esta fruta se caracteriza por presentar en la pulpa un significativo contenido de pigmentos de beta-caroteno (350 µg/ 100 g). Se sabe que este pigmento funciona como un antioxidante (Sánchez, 2006)

En la Tabla 1 y 2 se muestra composición porcentual y composición química, se presenta la composición porcentual de la lúcuma

**Tabla 1.** Composición porcentual de la lúcuma

Componentes	Porcentaje
Pulpa %	69 – 82
Cáscara %	7 – 15
Hollejo %	2 – 3
Semilla %	8 – 14

Fuente: Prolúcuma (2014)

#### **b. Usos de la lúcuma**

El Centro de Negocios de la Universidad del Pacífico (2013) indica que el producto comercial está representado por tres productos específicos: en estado fresco o procesado, como harina o pulpa.

#### **Lúcuma fresca**

Se destina principalmente para el consumo interno. Procede de diferentes zonas de producción, es distribuida principalmente a los mercados

mayoristas, minoristas y supermercados. La empresa Gloria utiliza fruta fresca para la producción de yogurt (El Centro de Negocios de la Universidad del Pacífico, 2013).

En la Tabla 2, se menciona composición del valor nutricional y composición química a base de 100 gramos

**Tabla 2.** Composición de valor nutricional y química base a 100 gramos

<b>Componentes</b>	<b>Contenido</b>
Agua (g)	56 - 72,3
Proteínas (g)	1,5
Carbohidratos (g)	25
Fibra (g)	1,3
Cenizas (g)	0,7
Calcio (mg)	16
Fósforo (mg)	26
Hierro (mg)	0,4
Vitamina B1 (Tiamina) (mg)	0,01
Vitamina B2 (Rivoflavina) (mg)	0,14
Niacina (mg)	1,96
Ácido ascórbico (mg)	2,2

Fuente: Balbi (2003)

### **Pulpa de lúcuma**

Según la Norma del Codex Alimentarius (2009), pulpa de fruta es la parte comestible de la fruta entera, según corresponda, sin cáscara, piel, semillas, pepitas, y partes similares, cortada en rodajas (rebanadas) o machacadas, pero sin reducirla a un puré.

Actualmente la pulpa se congela por el método de congelado instantáneo individual (IQF), que permite conservar la pulpa por tiempo prolongado, sin que pierda sus características originales y por consiguiente almacenada en forma segura, por largos periodos de tiempo. Siendo la variedad seda la que se emplea para la obtención de pulpa, debido a su alto contenido de agua (Salvador, 2000).

Asimismo, las ventajas de la pulpa frente a la harina, tanto en aroma como en color. Las empresas heladeras artesanales e industriales son las principales demandantes de pulpa, seguido de los zumos y néctares, mermeladas y alimentos infantiles (baby foods) (Centro de Negocios de la Universidad del Pacífico, 2013).

### **Harina de lúcuma**

La harina es elaborada a partir de la lúcuma variedad palo, debido a un menor contenido de agua en su composición nutricional. Es ingrediente para la industria alimentaria, se hidrata con agua fría en una relación 50/ 50 por 2 a 3 h antes de usar (Salvador, 2000).

Las industrias heladeras y panificadoras son las principales demandantes de harina de lúcuma. La empresa Nestlé es el mayor consumidor local, seguida de Alicorp, Teal y Nabisco, siendo abastecidos por la Asociación de Productores de Lúcuma y productores de la costa y sierra. La empresa Exprocom se encarga de acopiar, procesar y exportar harina de lúcuma, principalmente hacia la industria heladera chilena, asimismo, la harina presenta la ventaja de ser embarcada hacia destinos que implican largas distancias, además de ser almacenada por años (Centro de Negocios de la Universidad del Pacífico, 2013)

### **2.1.2. Generalidades de leche en polvo**

#### **Procesos de obtención de la leche en polvo**

La fabricación de la leche en polvo se logra en condiciones de vacío a bajas temperaturas en un rango de 45-70°C, logrando que la leche pierda alrededor de la mitad del agua para conservar todos sus nutrientes (Bocci, 2013).

El método más utilizado para obtener leche en polvo es la deshidratación por "Spray". Este método se puede utilizar sólo en aquellos alimentos de consistencia líquida, o semilíquida que pueda ser atomizados, es decir, ser separados en pequeñas gotitas. Este proceso se lleva a cabo en torres especiales de atomización, en donde el agua que contiene la leche es evaporada, obteniendo un polvo de color blanco amarillento que conserva las propiedades naturales de la leche. Para beberla, el polvo debe disolverse en agua potable. Este producto es de gran importancia ya que, a diferencia de la leche fluida, no precisa ser conservada en frío y por lo tanto su vida útil es más prolongada. Presenta ventajas como ser de menor coste y de ser mucho más fácil de almacenar. A pesar de poseer las propiedades de la leche natural, nunca tiene el mismo sabor de la leche fresca. Se puede encontrar en tres clases básicas: entera, semidescremada y descremada. Además, puede o no estar fortificada con vitaminas A y D. La leche en polvo contiene un elevado contenido en calcio. Así por 100 g de leche entera en polvo se obtienen 909 mg de calcio frente a los 118 mg que se obtienen por la misma cantidad de leche entera. Solamente ciertos quesos superan estas tasas tan elevadas de calcio, como el Emmental 1180 mg o el Parmesano rallado 1027 mg (Gimolimpo, 2009).

La leche en polvo se obtiene después de dos etapas de eliminación de agua. En la primera etapa se concentra la leche en un evaporador de múltiples efectos esta etapa incluye:

- Pre calentamiento
- Pasteurización
- Evaporación

La segunda se realiza por atomización en una instalación llamada torre de atomización. Allí la leche concentrada es dividida en finísimas gotas que se encuentran con una corriente de aire caliente que las seca dentro de la cámara de secado, esta etapa incluye:

- Homogenización
- Secado spray

La transformación de la leche en un producto en polvo presenta muchas ventajas tanto para los fabricantes como para los consumidores, ya que se prolonga la vida útil de la leche, se conserva su valor nutritivo y aumenta su valor económico. Además, se ahorran costos de transporte y el producto es más fácil de manipular y almacenar que la leche líquida (Rodrigo, 2011).

#### a. Composición y valor nutricional de leche en polvo

La leche en polvo presenta una composición en función al contenido de grasa (Tabla 2) posee proteínas, azúcares, grasas y sustancias minerales de la leche y en las mismas proporciones relativas, salvo por las modificaciones originadas por un proceso tecnológicamente adecuado.

En la tabla 3, se indica las características de fisicoquímico de la leche en polvo

**Tabla 3.** Característica físico-químico de la leche en polvo

<b>Requisitos</b>	<b>Entera</b>	<b>Parcialmente descremada</b>	<b>Descremada</b>
Materia grasa (% m/m)	mayor o igual a 26,0	1,5 a 25,9	menor que 1,5
Humedad (%m/m)	Máx. 3,5	Máx. 4,0	Máx. 4,0
Acidez titulable (ml NaOH0,1N/ 10g sólidos no grasos)	Máx. 18,0	Máx. 18,0	Máx. 18,0
Índice de insolubilidad (ml) Leches ATT	Máx. 1,0	Máx. 1,0	Máx. 1,0
Partículas quemadas (máx.)	Disco B	Disco B	Disco B
Descremada	60	60	60
Humectabilidad Máx. (s).			
Dispersabilidad Mín. (% m/m).	85	90	90

Fuente: Revilla (2000)

En la Tabla 4, se indica el valor nutricional y composición química de leche en polvo

**Tabla 4.** Valor nutricional y composición química de leche en polvo

<b>Contenido</b>	<b>Cantidad</b>
Calorías (Kcal/KJ)	494/2067
Proteínas (g)	26
Carbohidratos (g)	39
Azúcares (g)	39
Grasa (g)	26
Grasa saturada (g)	17,6
Calcio (mg)	1200
Fibra (g)	0
Sodio (g)	0,5
EST %	>97
Grasa %	>26
Proteínas (Nx6,38) %	39±3
pH (10% a 20°C)	6,6 – 6,8
Humedad %	<3
Acidez (°D)	12 – 16
Cenizas (%)	7±1
Indice solubilidad (mL)	<0,5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,55±0,1
P. ADMI	A-B
Inhibidores	Ausencia

Fuente: Revilla (2000)

## **b. Usos de la Leche en Polvo**

Según Casas (2013), la Leche en polvo no solo es un producto que se consume en forma doméstica luego de reconstituirla, sino que también puede utilizarse como ingrediente en una gran variedad de productos lácteos como son el queso, yogurt, helado, manteca, leche condensada, productos de panificación y chocolatería, etc. Esto gracias a que presenta las siguientes propiedades:

- Aumento del valor nutricional.
- Actúa como gelificante, espumante y emulsionante.
- Mejora características de aroma, sabor y color

La transformación de la leche en un producto en polvo presenta muchas ventajas tanto para los fabricantes como para los consumidores, ya que se prolonga la vida útil de la leche, se conserva su valor nutritivo y aumenta su valor económico. Además, se ahorran costos de transporte y el producto es más fácil de manipular y almacenar que la leche líquida (Revilla, 2000).

### **2.1.3. Generalidades de lactosuero**

#### **Lactosuero**

El lactosuero es definido como la sustancia líquida obtenida por separación del coagulo de la leche en la elaboración del queso, precipitación de la caseína o productos similares mediante la separación de la cuajada, después de la coagulación de la leche. La coagulación se obtiene mediante la acción de enzimas del cuajo (Gonzales, 2011).

Está compuesto principalmente de proteínas hidrosolubles (lactoalbúmina y lactoglobulina), lactosa, minerales y vitaminas que constituyen aproximadamente el 90% del volumen de la leche y contiene la mayor parte de los compuestos hidrosolubles de ésta. A pesar que en la actualidad es un material contaminante por su alto contenido orgánico, no hacer uso del lactosuero como alimento es un desperdicio de nutrientes, pues este contiene un poco más del 25 % de las proteínas de la leche, cerca del 8% de la materia grasa y cerca del 95 % de la lactosa (Villacis, 2011).

El suero de quesería puede definirse como el líquido resultante de la Coagulación de la leche en la fabricación del queso, tras la separación de la mayor parte de la caseína y de la grasa. Su composición varía con la de la leche utilizada y con el tipo de queso fabricado. A su vez, dependiendo de que la cuajada se consiga por acidificación (suero ácido) o por la adición de cuajo (suero dulce) habrá una variación importante en el contenido cálcico y de otras sustancias minerales (Moya, 2002).

El suero de queso, en muchos lugares, ya no se considera como un producto de desecho de la manufactura de queso, para ser esparcido en los campos o depositado en el drenaje o usado en la alimentación animal. De hecho, la opción de depositarlo en los drenajes fue abandonada hace mucho tiempo; pero las pequeñas cantidades de suero o suero salado, de plantas de queso Cheddar, contribuye a la alta demanda biológica de oxígeno de los sólidos del suero, viniendo principalmente de la lactosa. También el método de regado en los campos causa severos problemas de mal olor. La tecnología moderna del suero es un tema amplio por sí mismo; no se ha intentado cubrir todo el campo, pero una descripción del procesamiento del suero, podría ser incorporada en el negocio de la elaboración de quesos (Johnson y Law, 1999).

#### **a. Propiedades del lactosuero**

Para la industria alimentaria, el lactosuero constituye una fuente económica de proteínas que otorga múltiples propiedades en una amplia gama de alimentos. Los productos del suero, incluyendo la lactosa, mejoran la textura, realzan el sabor y color, emulsifican y estabilizan, mejoran las propiedades de flujo y muestran muchas otras propiedades funcionales que aumentan la calidad de los productos alimenticios. Basados en el valor nutricional del lactosuero, un número de usos comerciales se han obtenido como etanol, ácidos orgánicos, bebidas no alcohólicas, bebidas fermentadas, biomasa, concentrados, aislados e hidrolizados de proteína, películas comestibles, medio de soporte para encapsular sustancias, producción de xantana, enzimas, separación de la lactosa para fines endulzantes en alimentos entre otras aplicaciones (Parra, 2009).

## **b. Tipos de lactosuero**

Existen varios tipos de lactosueros dependiendo principalmente de la eliminación de la caseína, el primero denominado dulce, está basado en la coagulación por la renina a pH 6,5. El segundo llamado ácido resulta del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o ácidos mineral para coagular la caseína como en la elaboración de quesos frescos (Parra, 2009 y Elen, 2003).

### **Lactosuero dulce**

El suero dulce, se genera al elaborar el queso mediante el uso de enzimas proteolíticas o “cuajo”, las cuales actúan sobre las caseínas de la leche y las “cortan” o “rompen”, haciendo que estas se desestabilicen y precipiten, todo esto bajo condiciones específicas de temperatura (15-50°C), pH levemente ácido (5,9-6,6) producto de la incorporación de cultivos lácteos y iones calcio. La principal enzima utilizada para realizar esto, es la quimosina o renina. Esta enzima es propia del aparato digestivo de los rumiantes, por eso, antiguamente esta enzima se obtenía a partir del estómago de estos animales. Actualmente esta enzima es producida a partir de síntesis bioquímica evitando usar el estómago de terneros como materia prima. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, está el suero “ácido” (Franchi, 2010).

### **Lactosuero ácido**

Este suero se genera mediante la precipitación ácida de la caseína. Esta precipitación se realiza disminuyendo el pH de la leche a un valor de 4,5 a 4,6. A este pH, se alcanza el punto isoeléctrico de la mayoría de las caseínas presentes; en este punto, la carga eléctrica neta de la proteína es igual a cero, lo cual produce que la micela de caseína se desestabilice y precipite, dejando en solución solamente las proteínas de tipo séricas (Franchi, 2010). El lactosuero cuenta con una interesante acogida debido su contenido proteico y su alto nivel de edulcorantes (lactosa) en relación a otros productos lácteos. Su composición ofrece interesantes posibilidades en la industria de postres y confitería. Los sueros ácidos presentan un contenido menor de lactosa y mayor de sales minerales en comparación con sueros dulces, sin embargo,

la principal diferencia entre ambos es la concentración de calcio (Posada, 2011).

#### 2.1.4. Composición del lactosuero

En la tabla 5 y 6 se exponen los porcentajes de cada uno de los parámetros que componen el lactosuero, donde están incluidos el agua, extracto seco, lactosa, proteínas, grasa y sales minerales.

**Tabla 5.** Composición media del lactosuero

<b>Parámetro</b>	<b>Suero dulce</b>	<b>Suero ácido</b>
Agua %	93 – 95	93 – 95
Extracto seco %	5 – 7	5 - 7
Lactosa %	4,5 – 5,3	3,8 – 5,2
Proteínas %	0,6 – 1,1	0,2 – 1,1
Grasa %	0,1 – 0,4	0,1 – 0,5
Minerales %	0,5 – 0,7	0,5 – 1,2

Fuente: Guerrero (2012)

**Tabla 6.** Composición de lactosuero dulce y ácido

<b>Componentes</b>	<b>Lacotusero dulce</b>	<b>Lactosuero ácido</b>
Sólidos (g/l)	63,0 – 70,0	63,0 – 70,0
Lactosa (g/l)	46,0 – 52,0	44,0 – 46,0
Proteínas (g/l)	6,0 – 10	6,0 – 8,0
Calcio (g/l)	0,4 – 0,6	1,2 – 1,6
Fosfatos (g/l)	1,0 – 3,0	2,0 – 4,5
Lactato (g/l)	2,0	6,4
Cloruros (g/l)	1,1	1,1

Fuente: Panesar (2007)

El suero dulce varía generalmente debido a su composición original de la leche y el método usado en el procesamiento del queso, o sea las características de un suero de queso está en función a la elaboración de este y al trabajo de la cuajada.

**Tabla 7.** Composición físico - química del lactosuero dulce.

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>
Agua %	93,5
Materia grasa %	0,5
Lactosa %	4,5
Proteínas %	1,0
Sales %	0,5
Acidez °Dornic	12
Peso específico gr/cm <sup>3</sup>	1,025
Sólidos solubles %	6,15
Sólidos insolubles %	1,08
Sólidos totales %	7,23
pH	6,30
Color	Amarillo verdoso

Fuente: Spreer (1999)

En cualquiera de los dos tipos de lactosuero (dulce o ácido), se estima que por cada kg de queso se producen 9 kg de lactosuero, esto representa cerca del 85-90 % del volumen de la leche y contiene aproximadamente el 55 % de sus nutrientes (Liu, 2005). Entre los más abundantes de estos nutrientes están la lactosa (4,5 - 5 % p/v), proteínas solubles (0,6 - 0,8 % p/v), lípidos (0,4 - 0,5 % p/v) y sales minerales (8 - 10 % de extracto seco) (Muñi, 2005).

Presenta una cantidad rica de minerales donde sobresale el potasio, seguido del calcio, fósforo, sodio y magnesio. Cuenta también con vitaminas del grupo

B (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina) y ácido ascórbico (Londoño, 2008).

### **2.1.5. Obtención del lactosuero para procesamiento**

Después de dejar el queso en la tina en la fase de drenado, el suero pasa a través de un colador para remover las partículas finas de la cuajada. Estas partículas son agregadas de nuevo a la cuajada y el suero va a un tanque de mantenimiento, de igual manera puede ir a un clarificador centrífugo o a un filtro muy fino, para remover las pequeñas partículas que no han sido retenidas en la primera filtrada. Si el suero va a ser almacenado antes de su procesamiento, es enfriado debajo de los 10°C; las plantas más eficientes en el uso de energía usan el calor recobrado para calentar la leche refrigerada antes de pasteurizarla. El suero está así libre de partículas, pero contiene remanentes de grasa en forma globular, la cual podría ser concentrada por una subsecuente ultrafiltración (UF) que podría interferir en la recuperación de proteínas. Para remover la grasa, el suero es calentado alrededor de 50 - 55°C para derretir toda la grasa que puede ser separada por centrifugación, dejando solamente alrededor de 0.05% de grasa en el suero (Johnson y Law, 1999)

Sin embargo, Khamrui y Rajorhia (1998), indican que un calentamiento a 45°C basta para la separación de la grasa por centrifugación. La temperatura de almacenamiento del suero debe ser menor de 10°C si éste se pretende usar después de unas horas (Johnson y Law, 1999). Sin embargo, si se pretende almacenar por más tiempo ésta debe ser a 4°C (Khamurui y Rajhoria, 1998).

### **2.1.6. Usos y aplicaciones del lactosuero**

Antes del tratamiento térmico y de la evaporación, la leche desnatada puede mezclarse con lactosuero dulce, normalmente en una proporción de 5:1, para obtener un producto que sustituye a la leche concentrada desnatada. Este producto se conoce como “mezcla lactosuero-desnatada” y presenta una alternativa más barata a la leche concentrada, teniendo sus mismas aplicaciones. También indica que uno de los principales usos del lactosuero en todo el mundo es la fabricación de alimentos para el ganado, pero también

se utiliza en muchos productos de alimentación humana. Por ejemplo, el concentrado de suero se utiliza como sustituto de la leche concentrada desnatada en la elaboración de helados, postres, recubrimientos, sopas, salsas y muchos otros usos diferentes. Otra importante utilización del lactosuero es la producción de margarina y otros productos grasos para untar. El lactosuero dulce es el más utilizado para hacer los Concentrados Proteicos de Suero (WPC, por sus siglas en inglés), de los cuales existen muchos tipos, desde la especificación básica del WPC-35 hasta productos bajos en grasa, productos enriquecidos en proteínas funcionales específicas del suero y productos bajos en minerales (Early, 2000)

### **2.1.7. Generalidades de yogurt**

#### **Yogurt**

Es un producto lácteo obtenido mediante la fermentación bacteriana de la leche. Si bien se puede emplear cualquier tipo de leche, la producción actual usa predominantemente leche de vaca. La fermentación de la lactosa (el azúcar de la leche) en ácido láctico es lo que da al yogurt su textura y sabor tan distintivo. A menudo se le añade fruta, vainilla, chocolate y otros saborizantes, pero también puede elaborarse sin añadirlos; en algunos países se conoce al de sabor natural como Kumis ("natural"). Es el producto coagulado obtenido por fermentación láctica de la leche o mezcla de esta con derivados lácteos, mediante la acción de bacterias lácticas. (*Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*), pudiendo estar acompañadas de otras bacterias ácido lácticas que por su actividad le confieren las características al producto terminado; estas bacterias deben ser viables y activas desde su inicio y durante toda la vida útil del producto. Puede ser adicionado o no de los ingredientes y aditivos indicados en esta norma". Según la Norma NTE INEN 2 395:2009. Yogurt es leche cuajada, semisólida y ligeramente ácida, que se prepara con leche integra o descremada y sólidos lácteos, por fermentación con microorganismos del género *Lactobacillus*. El yogurt es rico en vitaminas del complejo B y constituye una buena fuente de proteínas. También establece, en el tracto gastrointestinal, un medio que inhibe el crecimiento de bacterias patógenas y favorece la absorción de minerales (Altamirano, 2011).

De acuerdo al Codex Alimentarius el yogurt se define como el producto de leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción de *Lactobacillus delbrueckii. Bulgaricus* y *Streptococcus salivarius., thermophyllus* a partir de la leche y productos lácteos. Los microorganismos presentes en el producto deberán ser apropiados y abundantes. Desde el punto de vista nutricionales yogurt es un excelente producto alimenticio de alto valor biológico presenta un considerable enriquecimiento del patrimonio vitamínico, en especial de las vitaminas del complejo B, además de la presencia de ácido láctico que aumenta la disponibilidad de micro elementos como el calcio y fósforo (Altamirano, 2011).

El yogurt es un alimento de fácil digestibilidad la caseína que es la principal proteína de la leche es parcialmente hidrolizada en el proceso de fermentación, por tanto, el organismo lo asimila con mayor facilidad. La lactosa que es el azúcar de la leche es transformada en ácido láctico, esta acidez favorece el desarrollo de una flora intestinal benéfica (Altamirano, 2011).

Hernández (2003), indica que el yogur es un producto que se obtiene al fermentar la leche utilizando un cultivo mixto formado por las bacterias *Lactobacillus Delbruekii, subespecie Bulgaricus, y Estreptococcus Salivarius, subespecie Thermophillus*. Como resultado de la fermentación, se produce ácido láctico a partir de la lactosa presente en la leche y una serie de compuestos que le imparten al yogur un sabor y un aroma típicos. El yogur debe tener una consistencia suave y homogénea, así como estar libre de grumos. Para evaluar sus características, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Aroma
- Sabor (acidez)
- Cuerpo (viscosidad o consistencia)
- Textura (ausencia de grumos)

### 2.1.8. Tipos de yogurt

Acosta (2003), indica los tipos de yogurt de mayor consumo a nivel mundial se tiene: yogurt batido, yogurt firme o aplanado y yogurt líquido. Se puede diferenciar otros tipos de yogurt por alguno de los tres criterios más usados:

#### a) Por el contenido de materia grasa

- **Entero.** - contenido de grasa mínimo 3%.
- **Descremado.** - contenido de grasa máximo 1%
- **Semidescremado.** - contenido de grasa entre 1.0-2.9 %

#### b) Por el gusto

- **Yogurt tradicional natural.** - es el yogurt que no tiene ningún agregado adicional, sólo los microorganismos típicos y sólidos de leche.
- **Yogurt azucarado.** - es el yogurt anterior, con la única adición de azúcar como edulcorante, ya sea en su forma cristalizada o en jarabe.
- **Yogurt con frutas.** - es el yogurt con la adición de azúcar como edulcorante, ya sea en su forma cristalizada o en jarabe y con la adición de pulpa de frutas.
- **Yogurt aromatizado.** - es el yogurt con la adición de azúcar como edulcorante, ya sea en su forma cristalizada o en jarabe y con la adición de saborizantes permitidos por la legislación vigente.

#### c) Por la textura

- **Yogurt batido:** también conocido como “stirred yoghurt” o coagulado en el tanque, es aquel yogurt que después de incubado, es batido para romper el coágulo, y proporcionarle una viscosidad y textura típica. El yogurt batido, normalmente tiene un contenido aproximado de sólidos totales de 14%, para lo cual será necesario adicionar leche en polvo a la leche, o concentrarla. Para la degustación de este tipo de yogurt, será necesario agitar el envase, a fin de homogenizarlo y poder observar su viscosidad y apariencia.

- **Yogurt firme o aflanado.** - Llamado también set yogurt. El yogurt aflanado es aquel yogurt que, después del inoculado es envasado en los envases de venta e incubados, los cuales deberán ser manipulados y transportados con cuidado a fin de no romper el coágulo. Normalmente tienen más sólidos de leche que el yogurt batido, a fin de obtener un coágulo firme y no producir sinéresis, que es uno de los principales defectos de este tipo de yogurt. Para la degustación de este tipo de yogurt, será necesario no agitar el envase, a fin de no romper el coágulo y poder observar su firmeza, no debe haber presencia de suero.
- **Yogurt bebible o líquido.** - Denominado “drink yoghurt” (Coagulado en tanque y de baja viscosidad). Se consume como una bebida, razón por la cual se expende en envases en forma de botella. La baja viscosidad se obtiene por que el yogurt después de la incubación se somete a una homogeneización o movimiento mecánico fuerte que hace que la viscosidad se torne más fluida (Acosta, 2003).

### **2.1.9. Bacterias usadas en el proceso de elaboración de yogurt**

Vera (2005), menciona que las bacterias son fermentos o cultivos de yogurt, estas son las causantes de los beneficios que el yogurt aporta a nuestro organismo estos microorganismos son los *lactobacillus bulgaricus* y *streptococcus thermophilus*.

El propósito de estas bacterias es descomponer el azúcar natural de la leche (lactosa), esto lo hace más digerible para la gente que es intolerante a la lactosa que las bacterias son las fuentes benéficas del yogurt, estas han sido utilizadas hace miles de años como una medicina para curar enfermedades (Vera, 2005).

#### **a. Producción y consumo**

El consumo de yogurt en la década de los sesenta era casi nulo, las personas solo lo consumían por recomendación médica originada por alteraciones intestinales o enfermedades. En la actualidad el yogur se ha ido introduciendo en nuestros hábitos de compras y consumo, estos cambios se han dado por la innovación de productos, llegando a convertirse en un alimento

fundamental En la actualidad se destaca el incremento en el consumo de yogures bajos en grasa, yogures cremosos, étnicos, mousses, de frutas exóticas, tipo postres, dietéticos y con prebióticos, mientras que el mercado de yogures saborizados y enriquecidos ha ido disminuyendo (Montero, 2003).

Para el caso del Yogurt, el consumo per cápita en el Perú es de 0,48 Kg/hab/año, mientras que en países europeos como Francia y Alemania este consumo es de aproximadamente 10 kg/hab/año mencionado por Dairy World Markets and Trade, USDA, enero de 1997, citado por (Piskulich, 2001).

Cabe resaltar que en la actualidad el gobierno está realizando actividades de capacitación sobre la estabulación de cabras lecheras en todo el distrito de Lancones en el marco del Proyecto de Desarrollo de Capacidades Productivas y Empresariales de los productores agropecuarios de la región Piura (PROCAT 11 - Gerencia Regional de Desarrollo Económico - Gobierno Regional Piura), logrando de este modo a la fecha estabular ganado caprino en la zona de Pozas Hondas, mejorando de esta manera la producción lechera en más de un 50%, con lo cual se están logrando rendimientos de hasta 2.5 litros de leche por cabra estabulada. Además, en la actualidad esta leche, es considerada como un alimento a tener en cuenta en el tratamiento de determinadas alergias infantiles a la leche de vaca, en el tratamiento de las úlceras duodenales y estomacales, en la estenosis pilórica y como un alimento excelente para personas de avanzada edad. En los países desarrollados el consumo de leche cruda de cabra no es muy elevado, ya que los grandes productores del área mediterránea como son Francia, Grecia, España e Italia destinan la mayor parte de la producción a la fabricación de quesos. Los países de más consumo de leche líquida de cabra son además de los anteriormente mencionados Australia, Checoslovaquia, Finlandia, India, Portugal y EEUU. En ninguno de ellos se consume a suficiente escala para que esta vía comercial leche líquida - tenga cierta importancia. En otro orden de las cosas, la leche de cabra ocupa el tercer lugar dentro de la población lechera mundial con 8.78 millones de Tm, por detrás de la leche de vaca y búfalo con una producción de 475.5 y 38.8 millones de Tm respectivamente, y por delante de la leche de oveja con 8.47 millones de Tm. Esta escasa participación de la leche de cabra en el contexto

mundial de la producción láctea es debido, por una parte, a que la mayoría de los sistemas de producción caprina están orientados fundamentalmente hacia la carne, por otra parte, a los escasos de alimento para este ganado en los países de mayor consumo, como son los países africanos y asiáticos (Piskulich, 2001).

#### **2.1.10. Elaboración de yogurt**

En la Figura 1, se presenta el diagrama de flujo para la elaboración de yogurt, cuyas operaciones se describen a continuación:

##### **a. Tratamiento preliminar de la leche**

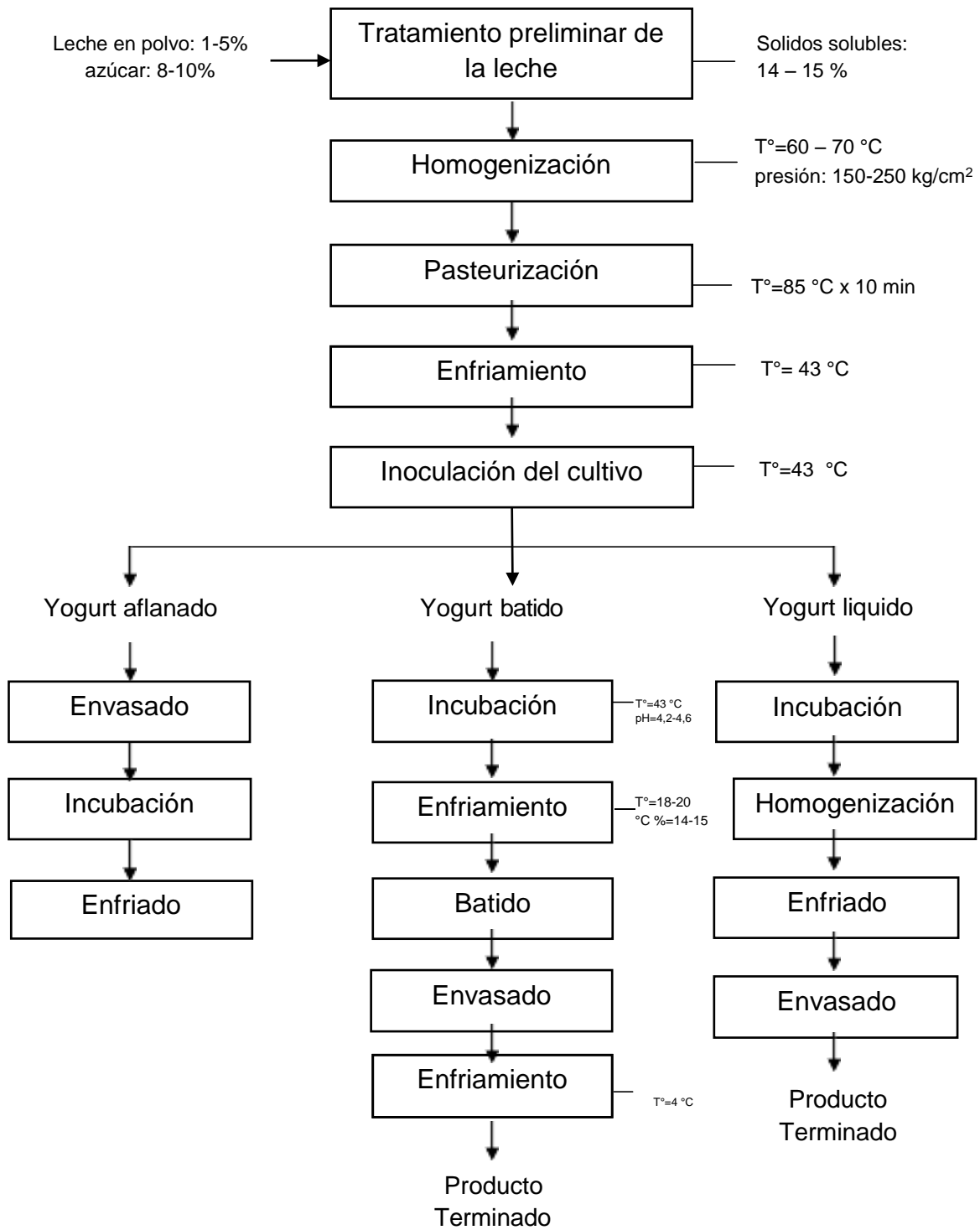
Esta etapa incluye una serie de medidas que afectan todas ellas en forma muy importante a la calidad del producto acabado. La leche para la producción de yogurt debe ser de la más alta calidad bacteriológica. No debe contener antibióticos ni agentes desinfectantes. Se debe normalizar el contenido de grasa según que se trate de un yogurt entero, semidescremado o descremado. Se debe incrementar los sólidos totales a un nivel de 14 a 15 %, esto se puede realizar por evaporación, adición de leche concentrada o lo que es más simple, adicionándole leche en polvo en la proporción de 1 - 5 %; por ejemplo, se pueden considerar un nivel promedio de 2 a 3 % de leche en polvo descremada, para el caso de yogurt batido. En esta etapa también se adiciona algunos aditivos como sustancias estabilizantes, colorantes, etc.

##### **b. Homogenización**

Consiste en agitar para que la distribución de leche en polvo y azúcar sea homogenizada en todos los puntos del recipiente el mismo que se efectúa de 60 °C 70 °C.

##### **c. Pasteurización**

Se efectúa a 85 °C por 10 minutos. La finalidad de esta operación es en primer lugar eliminar gérmenes patógenos y reducir la carga microbiana presente en la leche, además la pasteurización con los parámetros indicados, favorece una buena coagulación y reduce la separación del suero.



**Figura 1.** Diagrama de flujo para la elaboración de yogurt

Fuente: Vera (2011)

#### **d. Enfriamiento**

La leche debe enfriarse a 43 °C, que es la temperatura óptima para adicionar el cultivo de yogurt y el desarrollo de los microorganismos.

#### **e. Inoculación del cultivo de yogurt**

El cultivo de yogurt está formado por *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. Actualmente ya no se emplean los cultivos indirectos que requerían especial cuidado en su propagación debido a que eran muy susceptibles de ser contaminados y atacados por bacteriófagos y se alteraban las proporciones de los microorganismos, lo que producía cambios en las características del yogurt. Actualmente se emplean los cultivos de inoculación directa a la leche, que tienen muchas ventajas respecto a los convencionales sobre todo en la calidad del producto final. La dosificación viene establecida por el fabricante y está indicada en el empaque, en caso de trabajar con cantidades menores de leche se puede efectuar una separación del cultivo, la inoculación debe efectuarse a 43 °C.

#### **f. Incubación**

En esta etapa, se produce la fermentación láctica producida por los microorganismos del yogurt, la incubación se debe realizar a la temperatura de 43 °C. El procedimiento depende del yogurt que se quiera elaborar (aflanado, batido o líquido). En el caso del yogurt aflanado después de la inoculación se procede al envasado y después los envases son sometidos al proceso de incubación. En el caso del yogurt batido y líquido la incubación se realiza directamente en el tanque o en el recipiente donde se está elaborando el yogurt.

La incubación debe efectuarse hasta que la leche alcance un pH menor o igual a 4,6. Es muy importante mantener constante la temperatura de 43 °C, durante todo el período que dure el proceso de fermentación.

#### **g. Enfriamiento**

Cuando se alcanza el pH requerido, la temperatura debe bajarse rápidamente a 18-20 °C. Esto retarda el incremento posterior de la acidez.

#### **h. Batido**

Una vez que alcance el yogurt la temperatura antes mencionada (menor a 20 °C) el gel debe ser sometido a un tratamiento mecánico suave de batido hasta lograr una consistencia homogénea. En el caso de ser yogurt natural enseguida se envasa y se almacena en refrigeración, en caso contrario se le adiciona aromatizantes.

#### **i. Adición de sabores y aromas al yogurt**

El yogurt se puede aromatizar con pulpa de frutas, saborizantes, jarabes, miel y otros. La adición de estos ingredientes varía en función a gustos y preferencias. La pulpa de fruta normalmente se emplea en proporciones de 10 a 15 % y los colorantes y saborizantes de acuerdo a las exigencias del mercado.

En el caso de yogurt firme se agrega los saborizantes y colorantes antes de la incubación. En el caso del yogurt batido los aromatizantes y colorantes se agregan durante el proceso de batido.

#### **j. Envasado y almacenamiento**

El envasado del yogurt debe efectuarse en condiciones asépticas e inmediatamente debe almacenarse en refrigeración, su tiempo de duración es de 3 - 4 semanas a una temperatura de 4 °C a 5 °C.

#### **k. Enfriamiento**

La temperatura debe bajarse rápidamente hasta 4 °C. Al cual será almacenado para su posterior distribución (Risco, 2015).

#### **2.1.2.1. Defectos en el yogurt**

En la Tabla 8, se resume las principales causas y soluciones de defectos de baja viscosidad y defectos granulados del yogurt.

**Tabla 8.** Defectos del yogurt

<b>Defectos baja viscosidad</b>	<b>Defectos granulados</b>
<p><b>Posibles causas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo contenido de proteínas en la leche.</li> <li>- Tratamiento térmico/homogeneización insuficiente.</li> <li>- Agitación muy vigorosa</li> <li>- Tratamiento mecánico muy fuerte en la línea de proceso, presión baja.</li> <li>- Agitación a pH muy bajo (debajo de 4,2),</li> <li>- Destrucción del coágulo durante la acidificación</li> <li>- Cultivo.</li> </ul> <p><b>Soluciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar porcentaje de proteínas en la leche.</li> <li>- Ajustar las condiciones del proceso.</li> <li>- Ajustar la velocidad del agitador.</li> <li>- Usar bombas mono-positivas.</li> <li>- Aumentar la temperatura del rompimiento del coágulo hasta más o menos 18 a 25°C.</li> <li>- Agitar y enfriar a un pH más alto (4,4–4,6).</li> <li>- Ajustar las condiciones del proceso.</li> <li>- Escoger un cultivo más viscoso.</li> </ul> <p><b>Defectos sinéresis (salida de suero)</b></p> <p><b>Posibles causas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenido de extracto seco y proteínas muy bajo.</li> <li>- Contenido de grasa muy bajo.</li> <li>- Tratamiento térmico/homogeneización insuficiente.</li> <li>- Temperaturas de incubación muy altas.</li> <li>- Destrucción del coágulo durante la acidificación.</li> <li>- Oxígeno en la leche.</li> <li>- Valor de pH muy alto (arriba de 4,8).</li> </ul> <p><b>Soluciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajustar la composición.</li> <li>- Ajustar el porcentaje de grasa o fermentar hasta un pH más bajo (4,3 a 4,1).</li> <li>- Ajustar las condiciones del proceso.</li> <li>- Bajar la temperatura para 43°C.</li> <li>- Tratamiento al vacío.</li> <li>- Asegurar una edificación suficiente.</li> </ul>	<p><b>Posibles causas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Precipitación de fosfato de calcio/desnaturalización de partículas de albumina.</li> <li>- Temperatura de incubación muy alta.</li> <li>- Fermento.</li> </ul> <p><b>Soluciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajustar la intensidad del tratamiento térmico.</li> <li>- Bajar la temperatura para 43°C.</li> <li>- Escoger un cultivo más viscoso.</li> </ul> <p><b>Defecto sabor ácido</b></p> <p><b>Posibles causas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de enfriamiento muy largo</li> <li>- Temperatura de conservación muy alta.</li> <li>- Muy contaminado</li> <li>- Fermento.</li> </ul> <p><b>Soluciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajustar las condiciones del proceso.</li> <li>- Bajar temperatura de conservación.</li> <li>- Control del proceso y buenas prácticas de manufactura.</li> <li>- Cambiar el cultivo, utilizando uno con baja post-acidificación.</li> <li>- Cambiar el cultivo o las proporciones de inoculación.</li> </ul> <p><b>Defectos sabor amargo</b></p> <p><b>Posibles causas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy contaminado.</li> <li>- Alto contenido de <i>L. bulgaricus</i>.</li> <li>- Fermento.</li> </ul> <p><b>Soluciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control de proceso y buenas prácticas de manufactura.</li> <li>- Aumentar el contenido de <i>S. thermophilus</i> en el instante de la inoculación del cultivo.</li> </ul>

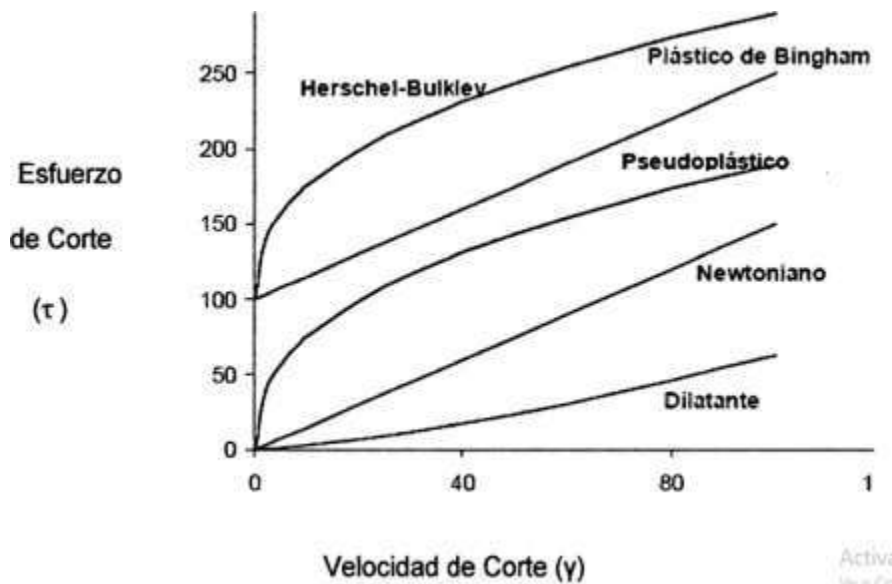
Fuente: Inda (2001).

### 2.1.3. Generalidades de la reología

#### Reología

Ramírez (2006), indica la reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Como por ejemplo en muchas industrias, incluyendo las de plásticos, pinturas, alimentación, tintas de impresión, detergentes y aceites lubricantes. Esta disciplina científica se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia. Su objetivo está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas, desarrollando posteriormente un modelo matemático que permita obtener las propiedades reológicas del material.

Carrasco (2018), menciona la reología es una ciencia que estudia la deformación y flujo de materiales sometidos a fuerzas externas. En concreto, analiza la relación existente entre las variables de esfuerzo de corte ( $\tau$ ), deformación producida ( $\gamma$ ), gradiente de velocidad o velocidad de deformación ( $\dot{\gamma} = d\gamma/dt$ ) y tiempo ( $t$ ). Dependiendo de cómo sea esta relación, los materiales presentan comportamientos reológicos diferentes. En la Figura 2, indica esfuerzo de corte versus velocidad de corte.



**Figura 2.** Clasificación de los fluidos

Fuente: Ibarz (2006)

Las características reológicas de un fluido son uno de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial. Frecuentemente, éstas determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado, envasado, almacenamiento y estabilidad física, e incluso en el momento del consumo (textura).

Ramírez (2006), 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 matemáticamente mediante el esfuerzo cortante " $T_{xy}$ ", mientras que la respuesta dinámica del fluido se cuantifica mediante la velocidad de deformación " $\dot{\gamma}$ ". Afirma que existen diferentes tipos de comportamientos reológicos para los fluidos alimenticios, los cuales se pueden clasificar en tres grandes grupos:

#### **a. Fluidos viscoelásticos**

Se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos. Las características de los productos viscoelásticos varían desde los líquidos viscosos con propiedades elásticas (modelo de Maxwell) a las de los sólidos con propiedades viscosas (modelo de Kelvin-Voigt). En condiciones normales, no es apreciable la elasticidad debida al estiramiento de los enlaces interatómicos y se puede afirmar que la elasticidad de los alimentos viscoelásticos es debido a la deformación elástica de las macromoléculas. En los alimentos viscoelásticos es frecuente que sólo se dé una recuperación parcial, porque la red tridimensional elástica se desintegra bajo el efecto de la tensión. Como por ejemplo son la nata, la gelatina y los helados.

#### **b. Fluido newtoniano**

Es aquel fluido que presenta una viscosidad constante dependiente de la temperatura, pero independiente de la velocidad de deformación que le sea aplicada.

### **c. Fluido no newtoniano**

Los fluidos no newtonianos son aquellos fluidos que no obedecen la ley de viscosidad de Newton. Este tipo de fluido no tiene una sola viscosidad a una temperatura dada, se dice que son dependientes tanto la temperatura como la velocidad de deformación y pueden ser también dependientes del tiempo. Con base en esta última condición los fluidos no newtonianos pueden clasificarse en:

### **d. Pseudoplástico**

Para este tipo de fluido la viscosidad decrece conforme se incrementa la velocidad de deformación, la razón por la cual se da este comportamiento, es que al haber mayor velocidad de deformación las partículas de este tipo de fluido se acomodan de tal modo que existe una menor resistencia al flujo y por lo tanto una menor viscosidad. Como por ejemplo algunos tipos de ketchup, mostaza, algunas clases de pinturas y suspensiones acuosas de arcilla.

### **e. Dilatante**

La viscosidad de estos fluidos incrementa al mismo tiempo que la velocidad de deformación incrementa, este tipo de comportamiento es común en suspensiones de muy alta concentración. Como por Ejemplos de este tipo de fluidos son: la harina de maíz, las disoluciones de almidón muy concentradas, la arena mojada y dióxido de titanio, etc.

### **f. Plásticos y plásticos de bingham**

Estos fluidos requieren la aplicación de una fuerza antes de que el material comience a fluir. A dicha fuerza se le conoce como esfuerzo de cedencia. Como por ejemplo son el chocolate, la arcilla, la mantequilla, la mayonesa, la pasta de dientes, las emulsiones y las espumas.

El objetivo es identificar el comportamiento reológico de un fluido cotidiano mediante una metodología adecuada para la operación de un viscosímetro rotacional y obtengan así mediciones reológicas óptimas que lleven a la interpretación de algún modelo matemático expuesto (Carmona, 2008).

En la Tabla 9, se presenta los principales modelos matemáticos de los fluidos no newtonianos. Esfuerzo cortante ( $\tau$ ), velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ), índice de consistencia ( $k$ ) e índice de comportamiento del fluido ( $n$ ).

**Tabla 9.** Principales modelos matemáticos de los fluidos no newtonianos.

Modelo	Ecuación
Newton	$\tau = \mu \left( \frac{du}{dy} \right)$
Bingham	$\tau = \tau_0 + \mu \left( \frac{du}{dy} \right)$
Casson	$\tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + \mu_c \left( \frac{du}{dy} \right)^{1/2}$
Herschel-bulkley	$\tau = \tau_0 + \mu \left( \frac{du}{dy} \right)^{1/n}$
Ostwald de Waele	$\tau = k \left( \frac{du}{dy} \right)^n$
Mizrahi y Berk	$\tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + k \left( \frac{du}{dy} \right)^n$

Fuente: Carrasco (2018)

### 2.1.3.1. Aplicación de la reología en los alimentos

Garza (1998), indica el conocimiento adecuado de las propiedades reológicas de los alimentos es muy importante por numerosas razones, entre las que destacan las aplicaciones que se detallan a continuación:

**a) Diseño de procesos y equipos en ingeniería.** El conocimiento de las propiedades de comportamiento al flujo y de deformación de los alimentos son imprescindibles en el diseño y dimensionado de equipos tales como cintas transportadoras, tuberías, tanques de almacenamiento, pulverizadores o bombas para el manejo de alimentos. Además, la viscosidad se utiliza para la estimación y cálculo de los fenómenos de transporte de cantidad de movimiento, calor y energía.

## **b) Evaluación sensorial.**

Los datos reológicos pueden ser muy interesantes para modificar el proceso de elaboración o la formulación de un producto final de forma que los parámetros de textura del alimento se encuentren dentro del rango considerado deseable por los consumidores.

## **c) Obtener información sobre la estructura del alimento.**

Los estudios reológicos pueden aportarnos información que facilite una mejor comprensión de la estructura o de la distribución de los componentes moleculares de los alimentos, especialmente de los componentes macromoleculares, así como para predecir los cambios estructurales durante los procesos de acondicionamiento y elaboración a los que son sometidos.

## **d) Control de calidad.**

Las medidas de la viscosidad en continuo son cada vez más importantes en muchas industrias alimentarias con objeto de controlar el buen funcionamiento del proceso productivo, así como la calidad de las materias primas, productos intermedios y acabados.

### **2.1.3.2. Factores que influyen en el comportamiento reológico**

Existen muchos factores que influyen en el comportamiento reológico de los alimentos como son la presión, la estructura del alimento, el gradiente de velocidad o velocidad de deformación y el tiempo de tratamiento de la muestra. Pero son, quizás, la temperatura de tratamiento y la concentración del alimento los más importantes y los que más se han estudiado.

## **2.2. Antecedentes**

Riofrío (2014), evaluó cuatro tipos de sueros provenientes de quesos como el Mozzarella, Fresco, Port Salut de 15 días y Semi maduro de 1 mes de maduración. Se elaboró cuatro producciones de cada queso para evaluar las variables de respuesta; la cantidad de proteína fue determinada por el método Kjeldahl, el porcentaje de lactosa por el método polarimétrico; los minerales más significativos como el calcio, potasio, sodio a través de un espectrofotómetro de absorción atómica (AAS) y el fósforo por colorimetría. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 4

repeticiones; y se valoró la diferencia entre medias de tratamiento utilizando la prueba de Tukey. Los resultados indicaron que tanto la cantidad de proteína como de potasio en queso mozzarella (1,29 g/100g), (148,03 mg/L) y fresco (1,24 g/100g), (150,94 mg/L) respectivamente fueron estadísticamente iguales. En cuanto a la cantidad de calcio en queso mozzarella (53,36 mg/L) es diferente significativamente al resto de los sueros caracterizados y la lactosa en el queso fresco (4,3 g/100g) es el mayor componente del lactosuero, agua 95%, lactosa 6%, sólidos solubles 5,50 % y pH 6. Las tendencias de los consumidores a nivel mundial se han enfocado al consumo de productos saludables, que además de su contribución nutricional, ofrezcan beneficios a la salud. La presente investigación demostró que el suero de leche puede ser utilizable y al ser empleado eleva la rentabilidad de la industria quesera y elimina la contaminación del medio ambiente.

Williams (2002), estudio el suero dulce de queso fresco y sabores a fruta"; en donde se propuso encontrar un uso alternativo al suero de queso fresco en una bebida con sabores de uva y naranja, mediante tres formulaciones, cada una con suero al 75, 65 y 50 % agua, sorbato de potasio, azúcar y ácido cítrico los sabores de naranja y uva los cuales se optimizaron a través de una prueba Friedman y a través de la prueba de diferencias críticas absolutas de la suma de rangos seguidamente realizó una prueba de aceptación con 77 encuestados en los puestos de venta de Zamora, luego efectuó una distribución de frecuencia con el programa estadístico SAS. En donde el 77 % de los" encuestados en la prueba de aceptación afirma que le agrada la bebida a sabor uva y el 27 % menciona haberle agradado la bebida a sabor a naranja; el contenido proteico promedio fue de 0,39 y 0,38 % para la bebida con sabor a naranja y uva respectivamente. De acuerdo a los resultados microbiológicos, el proceso desarrollado es el adecuado debido a que los conteos de unidades formadoras de colonias se encuentran debajo de las normas exigidas

Francisco (2002), investigó una bebida a partir del suero de queso y leche descremada con sabor a mango siendo este un contaminante ambiental que incide DQO y DBO. Su objetivo fue desarrollar una bebida a partir de suero

de queso fresco, leche descremada, azúcar y esencia de sabor a mango, caracterizarla microbiológica y químicamente, medir su aceptación por los consumidores, calcular los costos variables de producción y realizar un estudio de mercado. El flujo de proceso se basa en la recolección y colado del suero, mezcla de ingredientes, pasteurización, homogeneización, enfriamiento y envasado. Los tratamientos fueron: 75 % de leche descremada y 25 % de suero, 50 % de leche descremada y 50 % de suero, 25 % de leche descremada y 75 % de suero y 100 % de suero; de éstos el que tuvo mayor preferencia, con 95 % de confianza, fue el de 75 % de leche descremada y 25 % de suero. La estabilidad microbiológica fue evaluada a los días 1, 7 y 14 de almacenado, la bebida presentó rangos aceptables hasta los 7 días de almacenado. La composición promedio de la bebida seleccionada fue: 2,47 % de proteína, 11,4 % de carbohidratos totales y 0,08 % de grasa. Se encuestaron 288 personas para determinar la frecuencia de consumo, sabores de preferencia y razones de compra. A 62 % de las 70 personas encuestadas les agradó la bebida, 44 % lo compraría y el tamaño de 925 ml fue el preferido. Los costos variables de producir un litro de la bebida fueron de L. 5,45. Se recomienda ensayar la adición de preservantes para alargar su vida útil y probar con concentrados naturales.

Álvarez (2013), caracterizó los diferentes tipos de lactosueros dulces producidos en la Cooperativa Colanta, con el fin de proponer alternativas en el uso de este a nivel industrial; por ejemplo en productos cárnicos y embutidos como agentes aglutinantes para mejorar su textura y sabor, en la panificación en el reemplazo de ingredientes como el huevo, en confitería y elaboración de postres permitiendo el desarrollo de la reacción de maillard, en bebidas lácteas fermentadas e hidratantes, en hidrolizados para fórmulas lácteas infantiles y en suplementos proteicos para deportistas, además en la elaboración de concentrados para animales. Según los análisis realizados se encontró que todos los parámetros evaluados en los lactosueros: suero líquido, suero pasteurizado, suero clarificado y crema de suero, cumplen con lo establecido por la empresa para su proceso industrial, excepto la proteína para el suero pasteurizado. La empresa no cuenta con parámetros de referencia para cenizas y respecto a la proteína solo cuenta con el cincuenta

por ciento de estos; los resultados obtenidos se dejan como recomendación para ser utilizados en la matriz de la Cooperativa Colanta en el uso de los diferentes lactosueros.

Sánchez (2006), indica las mismas características químicas de exportación. En la determinación de la fibra dietaria y sus componentes se obtuvieron composiciones de entre 1,98 % y 1,37 % de fibra soluble, 13,81 % y 12,26 % de fibra insoluble, 10,85 % y 0,31 % de hemicelulosa, 5,62 % y 3,01 % de celulosa, 3,42 % y 0,49 % de lignina. La más alta concentración de fibra dietaria se dio en Trompito con 15,18 % y la más baja en María Belén con 13,75 %.

Aguirre (2016), estudio de la adición de la pulpa de lúcuma variedad seda Se evaluó el efecto de la adición de pulpa de lúcuma (10, 20 y 30 %) sobre el color sensorial, color y firmeza instrumental y aceptabilidad general en muffins, asimismo se consideró una muestra control sin adición. El análisis estadístico para las variables paramétricas y no paramétricas fueron evaluadas a un nivel de significancia del 5 %. El análisis de varianza mostró un efecto significativo en la adición de pulpa de lúcuma sobre la firmeza,  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  y el color sensorial. La prueba de Duncan indicó que la mejor firmeza (3,82 N) se obtuvo utilizando el 30 % de adición de pulpa de lúcuma, valor cercano al de la firmeza de la muestra control. Con la adición de pulpa de lúcuma al 20% se obtuvo el mejor valor de  $b^*$  (24,36), cercano al valor de la muestra control. Para los parámetros de  $L^*$  y  $a^*$ , la prueba de Duncan demostró que existió diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo mejores parámetros color de  $L^*$  y  $a^*$  a un nivel de adición de pulpa de lúcuma al 10%, con valores de  $L^*$  de 63,03 y  $a^*$  de 4,47, cercanos al valor de la muestra control. En la evaluación sensorial del color de los muffins elaborados con la adición de pulpa de lúcuma, se encontró diferencia significativa ( $p < 0,05$ ), determinándose que el tratamiento con adición de pulpa de lúcuma al 20 % presentó una mejor media (7,73), siendo mayor al valor (6,77) de la muestra control. Asimismo, la prueba de Friedman demostró que no existió efecto significativo de la adición de pulpa de lúcuma sobre la aceptabilidad general en muffins, obteniéndose una mejor media (7,33) con la adición de pulpa de lúcuma al 20 %.

García (2016), investigó las “características de las variedades comerciales de lúcuma” revelando un contenido de humedad (entre 55-75 por ciento) inferior comparado con otras frutas frescas (80 – 90%). El contenido de lípidos fue inferior al 1%, por lo general superior al de la mayoría de frutas, con excepción de los frutos secos. Los lípidos insaponificables constituyen entre el 0.1 al 0.2 por ciento. El contenido de proteína, alrededor del 2 por ciento, 25°Brix, es también elevado cuando se le compara con el de otras frutas. Respecto al contenido de fibra dietaria, se ha reportado que en la lúcuma ésta es mayormente insoluble, con un 3 por ciento para la lúcuma de la variedad Seda y 5 por ciento para la variedad Palo. La fibra soluble representa el 3.9 y 4.0 por ciento para las variedades Seda y Palo, respectivamente. Este contenido de fibra dietaria total es superior al de otras frutas tales como la papaya, plátano, chirimoya y mango.

Machacuay (2014), investigo la composición fisicoquímica del lactosuero dulce encontrando una acidez (0,248 %) y pH (5,5); en el diseño estadístico se utilizó el diseño de bloques completamente aleatorio, se determinó la prueba de significación de Duncan ( $p \leq 0,05$ ) evaluando las características organolépticas con cuatro tratamientos de la formulación: Lactosuero (75%, 85 %, 95 % y 100 %); yogurt natural (25 %, 15 %, 5 % y 0 %). A estas mezclas se les sometió a una evaluación sensorial con 15 panelistas semi-entrenados, con la finalidad de observar si existe variación en las características organolépticas de olor, sabor, y textura. El resultado nos demostró que el tratamiento tres (85 % lactosuero y 15 % yogurt natural); es el más aceptable por los panelistas y teniendo el mayor puntaje a su vez obtuvo las siguientes características: Análisis físico-químico: pH (4,57), acidez (0,648 %), sólidos solubles (14 °Brix) y densidad (1,047 g/ml). Análisis químico proximal con los siguientes resultados: Grasa (1,09 %), Proteína (4,07 %), Ceniza (0,54 %), Humedad (87,70 %), Carbohidratos (6,60 %) y no contiene Fibra cruda (0,00%). Los resultados del análisis microbiológico al tratamiento analizado, en mohos (menor de 100), aerobios mesófilos viables ( $2,5 \times 10$ ) y coliformes totales (menor de 10), este análisis se encuentra dentro de los límites permitidos para su consumo, según la NTP–2008 (Leche y productos lácteos. Yogurt) y NTE–2012 (yogurt de suero).

Aguilar (2016), desarrolló formulaciones de yogurt en guayaba, incluyendo el análisis el comportamiento reológico y parámetros sensoriales del producto enriquecido con dos tipos de cereales: granola y avena. Las propiedades reológicas se midieron en un viscosímetro de rotación cilindros concéntricos y los resultados mostraron que, para todas las formulaciones, el producto tiene cierta tixotropía. El contenido de cultivo láctico no fue significativo, pero el contenido de pulpa influye en la reología del producto, con mayor consistencia cuando el contenido de pasta utilizada fue del 10%. La evaluación sensorial, se concluyó que la guayaba enriquecido granola yogurt tiene mayor aceptabilidad, pero las formulaciones no mostraron diferencias significativas entre ellos.

Castro (2012), evaluó el efecto de cultivos iniciadores de yogurt a diferentes concentraciones de sólidos totales sobre la viscosidad del yogurt natural tipo batido. Se utilizaron dos tipos de cultivos Sacco y Vivolac a concentraciones de sólidos totales de 12 y 15 %. Se utilizó un análisis de varianza y posteriormente la prueba de intervalos múltiples de Duncan para determinar si existía diferencia significativa entre los tratamientos. Para evaluar la viscosidad se utilizó el viscosímetro rotacional Selecta ST-DIGIT-R con husillo lcp para bajas viscosidades a una temperatura de 4 °C. Se determinó que todas las muestras se comportaban como un fluido plástico general por lo que siguieron el modelo matemático de Hershel- Bulkley y así se halló el índice de consistencia (K) y el índice reológico de comportamiento de flujo (n), se consideraron solo datos con escala de fondo mayor a 20 %. El tratamiento que obtuvo un índice de consistencia (K) mayor fue el tratamiento 2 con Sacco a 15 % de sólidos totales (10,78 Pa.s), seguido del tratamiento 1 con Vivolac a 15 % de sólidos totales (9,45 Pa.s), luego el tratamiento 3 con Sacco a 12 % de sólidos totales (3,38 Pa.s) y finalmente el tratamiento 4 con Vivolac a 12 % de sólidos totales (1,55 Pa.s). El índice reológico de comportamiento de flujo (n) fue mayor en el tratamiento 4 con Vivolac a 12 % de sólidos totales (0,845), seguido del tratamiento 3 con Sacco a 12 % de sólidos totales (0,777), luego el tratamiento 2 con Sacco a 15 % de sólidos totales (0,693) y finalmente el tratamiento 1 con Vivolac a 15 % de sólidos totales (0,676). El análisis de varianza mostró que había diferencia

significativa tanto para el esfuerzo cortante inicial ( $\tau_0$ ), índice de consistencia (K) y el índice reológico de comportamiento de flujo (n), así mismo la prueba de intervalos múltiples de Duncan dio como resultado que a altas concentraciones de sólidos totales no hay diferencia significativa entre el uso del cultivo Vivolac o Sacco sobre el índice de consistencia (K) tampoco sobre el índice reológico de comportamiento de flujo (n).

Camporese (2011), estudió la influencia de la concentración de espesante en el yogur con sabor a café. El comportamiento reológico (curvas de flujo y viscosidad) de los yogures con y sin adición de gelatina se comparó con el yogur comercial, que contiene otro tipo de espesante (goma de algarrobilla) en su formulación. Las curvas de flujo y viscosidad se obtuvieron del reómetro rotativo Thermo Haake Mars, con un rango de velocidad de corte de 0,02 a 100 s<sup>-1</sup> (curva ascendente) y de 100 a 0,02 s<sup>-1</sup> (curva descendente) en un tiempo total de 20 minutos. La histéresis se determinó como el área entre las curvas y se ajustó a los modelos de Bingham, Casson, Herschel-Bulkley y Ostwald-de-Waele. También se realizaron pruebas de tixotropía, midiendo la viscosidad en función del tiempo a una velocidad constante de 100 s<sup>-1</sup> durante 10 minutos. Estas curvas fueron ajustadas por el modelo Weltman. Todas las muestras mostraron comportamiento pseudoplástico y tixotrópico. El modelo Herschel-Bulkley fue el mejor ajuste para las tres muestras analizadas. El modelo de Weltman describió bien las pruebas de tixotropía, a excepción de la muestra de yogurt comercial. El uso de gelatina como espesante mostró carácter protector, reduciendo la ruptura estructural del gel.

### **2.3. Hipótesis**

#### **Hipótesis general**

El yogurt elaborado a base de lactosuero con leche en polvo y pulpa de lúcuma (*Pouteria obovata*) presenta buenas propiedades reológicas y características sensoriales.

## **Hipótesis específico**

- Determinándose la concentración adecuada de leche en polvo a utilizarse en la elaboración del yogurt a base de lactosuero, se obtendrá un producto con buenas características sensoriales.
- Determinándose la concentración adecuada de pulpa de lúcuma a utilizarse en la elaboración del yogurt a base de lactosuero, se obtendrá un producto con buenas características sensoriales.
- El yogurt elaborado a base de lactosuero con pulpa de lúcuma, presenta buenas propiedades reológicas.

## **2.4. Variables**

### **Variables independientes (X)**

$X_i$ : Sustitución de leche en polvo a utilizarse en la elaboración del yogurt a base de lactosuero.

$X_j$ : Proporción de pulpa de lúcuma a utilizarse en la elaboración de yogurt a base de lactosuero.

### **Variables dependientes (Y)**

$Y_i$ : Características sensoriales del yogurt a base de lactosuero obtenido con leche en polvo y pulpa de lúcuma.

$Y_j$ : Propiedades reológicas del yogurt a base de lactosuero obtenido con leche en polvo.

### **Variables intervinientes**

- Temperatura de pasteurización
- Tiempo de pasteurización
- Temperatura de incubación
- Tiempo de incubación
- pH de incubación
- Temperatura de enfriamiento

### **Operacionalización de variables**

En la Tabla 10, se aprecia la operacionalización de variables

**Tabla 10.** Operacionalización de variables del estudio

Variables	Dimensiones Indicadores	
<b>Variables independientes:</b>		
Xi: Sustitución de leche en polvo a utilizarse en la elaboración del yogurt a base de lactosuero	Porcentaje	X <sub>1</sub> = 8%
	en función	X <sub>2</sub> = 10%
	del suero	X <sub>3</sub> = 12%.
Xj: Proporción de pulpa de lúcuma a utilizarse en la elaboración del yogurt a base de lactosuero	Porcentaje	X <sub>1</sub> = 5%
	en función	X <sub>2</sub> = 10%
	del suero	X <sub>3</sub> = 15%.
<b>Variables dependientes:</b>		
Yi: Características sensoriales del yogurt a base de lactosuero obtenido con leche en polvo y pulpa de lúcuma.	Atributos sensoriales.	Color, aroma, sabor y aceptación general.
	Propiedades reológicas	Esfuerzo de corte
Yj: Propiedades reológicas del yogurt a base de lactosuero obtenido con leche en polvo y pulpa de lúcuma.	Identificación del tipo de fluido	Velocidad de cizalla Tipo de fluido

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta de procesamiento de productos alimenticios, laboratorio de análisis físico químico, laboratorio de evaluación sensorial y laboratorio de análisis por instrumentación de la carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán - Huánuco.

##### **Ubicación política y geográfica**

Región : Huánuco  
Provincia : Huánuco  
Distrito : Pillco Marca  
Lugar : Cayhuayna – UNHEVAL

##### **Ubicación política**

Región : Huánuco  
Provincia : Huánuco  
Distrito : Pillco Marca  
Lugar : Cayhuayna – UNHEVAL

##### **Ubicación geográfica**

Latitud : 09° 58´ 12”  
Longitud Oeste : 75° 15´ 08”  
Altitud : 1920 msnm

#### 3.2. Tipo y nivel de investigación

##### **Tipo de investigación**

La investigación es aplicada, por la existencia de la tecnología para la elaboración de yogurt, buscamos determinar parámetros específicos: concentración de leche en polvo y de pulpa de fruta lúcuma, para obtener yogurt a base de lactosuero y que el producto resultante presente buenas características sensoriales y propiedades reológicas en el cual se determine el tipo de fluido.

## **Nivel de investigación**

Es experimental porque intencionalmente se manipula las variables independientes; midiendo sus efectos en la variable dependiente.

### **3.3. Población, muestra y unidad de análisis**

#### **Población**

La población hace referencia al yogurt a base de lactosuero elaborado con diferentes concentraciones de leche en polvo y pulpa de lúcuma, 45 envases .de 1 L por tratamiento.

#### **Muestra**

Yogurt en estudio a base de lactosuero dulce de 500 ml tomando un muestro aleatorio simple

#### **Unidad de análisis**

Se utilizaron 45 envases de 50 ml para los análisis sensoriales, 500 ml de cada tratamiento para análisis físico-químico y 10 envases de 100 ml para los análisis reológicos, utilizado 25 ml por cada análisis

### **3.4. Tratamiento en estudio**

#### **Sustitución de leche en polvo y pulpa de fruta en la elaboración del yogurt a base de lactosuero dulce**

Los aspectos que se determinó la concentración adecuada de la leche en polvo y pulpa de lúcuma en la elaboración del yogurt a base de lactosuero dulce.

En la Tabla 11 se presenta los tratamientos para la determinación de la concentración de leche en polvo y pulpa de lúcuma para la elaboración del yogurt a base de lactosuero.

**Tabla 11.** Tratamiento en estudio

<b>Tratamientos</b>	<b>Descripción</b>
T <sub>1</sub>	8% leche en polvo y 5% pulpa de lúcuma
T <sub>2</sub>	8% leche en polvo y 10% pulpa de lúcuma
T <sub>3</sub>	8% leche en polvo y 15% pulpa de lúcuma
T <sub>4</sub>	10% leche en polvo y 5% pulpa de lúcuma
T <sub>5</sub>	10% leche en polvo y 10% pulpa de lúcuma
T <sub>6</sub>	10% leche en polvo y 15% pulpa de lúcuma
T <sub>7</sub>	12% leche en polvo y 5% pulpa de lúcuma
T <sub>8</sub>	12% leche en polvo y 10% pulpa de lúcuma
T <sub>9</sub>	12% leche en polvo y 15% pulpa de lúcuma

### **Análisis sensorial**

Se utilizó la prueba afectiva y las interpretaciones mediante la prueba no paramétrica de Friedman. Se evaluó los tres tratamientos en estudio con 60 panelistas para cada evaluación sensorial descrito en Anexo 2

### **Evaluación de las propiedades reológicas del yogurt obtenido**

Se realizó 9 tratamientos  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6, \tau_7, \tau_8, \tau_9$ , a los que se aplicaron 05 modelamiento reológicos, para evaluar el comportamiento mecánico de la muestra, los modelos empíricos usados son Bingham, Casson, Herschel Bulkley, Mizrahi Berk y Ostwald de Waele

### **3.5. Prueba de hipótesis**

#### **Concentraciones de leche en polvo y pulpa de lúcuma en la elaboración del yogurt a base de lactosuero dulce**

- **Hipótesis nula**

H<sub>0</sub>: Las tres concentraciones de leche en polvo y pulpa de lúcuma en el yogurt a base de lactosuero dulce obtenido producen iguales características sensoriales.

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8 = \tau_9 = 0$$

- **Hipótesis alternativa**

H<sub>1</sub>: Al menos una de las concentraciones de leche en polvo y pulpa de lúcuma atribuirá una diferente preferencia sensorial en el yogurt obtenido a base de lactosuero dulce.

$$H_1: \text{Al menos un } \tau_i \neq 0$$

### **Evaluación de las propiedades reológicas de los tratamientos de yogurt a base de lactosuero con leche en polvo y pulpa en fruta lúcuma**

- **Hipótesis nula**

H<sub>0</sub>: No existe diferencia significativa en las propiedades reológicas del yogurt obtenido a base de lactosuero dulce con leche en polvo y pulpa de fruta lúcuma.

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8 = \tau_9 = 0$$

- **Hipótesis alternativa**

H<sub>1</sub>: Al menos uno de los yogures obtenidos a base de lactosuero dulce con leche en polvo y pulpa de fruta lúcuma presenta diferentes propiedades reológicas.

$$H_1: \text{Al menos un } \tau_i \neq 0$$

### **3.5.1. Diseño de la investigación**

#### **Evaluación de las características sensoriales**

La evaluación sensorial que se efectuó a los productos obtenidos en los diferentes tratamientos en estudio fue analizados estadísticamente a través de la prueba no paramétrica de Friedman a un nivel de significación  $\alpha = 5\%$  y su correspondiente prueba de clasificación de tratamientos (Sotomayor 2008).

#### **Evaluación de las propiedades reológicas**

Lo reogramas de diferentes concentraciones de yogurt a base de lactosuero (formulaciones a diferentes proporciones pulpa de lúcuma y leche en polvo a temperatura ambiente) se obtuvieron por regresión lineal los coeficientes fueron viscosidad, velocidad, esfuerzo cortante y gradiente de velocidad.

### **3.5.2. Datos a registrados**

Según los objetivos planteados y variables del estudio, en la primera etapa se efectuó la caracterización del lactosuero y de la pulpa de lúcuma (%acidez, pH, %ceniza, °Brix, sólidos totales); también se registraron los datos proporcionados por los panelistas responsables de la evaluación sensorial como: color, aroma, sabor y aceptación general. Finalmente se obtuvo los datos de propiedades reológicas del producto obtenido.

### **3.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de la información**

Para la recolección y registro de datos se utilizó formatos elaborados acorde al estudio, memorias, cámara fotográfica, cuadernos y USB para el almacenamiento de información, libreta de apuntes lápices, marcadores entre otros.

#### **Técnicas de investigación documental o bibliográfica**

- a) El análisis documental: referente al yogurt, lactosuero, leche en polvo, lúcuma y antecedentes de investigaciones similares lo cual permitió analizar y comprender el estudio de investigación de manera objetiva y sistemática.
- b) El fichaje: permitió registrar datos importantes de los materiales leídos y ordenar sistemáticamente que sirvieran para elaborar el marco teórico.

#### **Instrumento de investigación documental**

Fichas de investigación o documentación, comentario, resumen, fichas de registro o localización, bibliografías, hemerografías, internet.

#### **Instrumento de recolección de información en laboratorio y planta.**

Cámara fotográfica, videograbadoras y cuaderno de apuntes.

#### **Procesamiento y presentación de los resultados**

Los datos obtenidos fueron ordenados y procesados en una computadora utilizando el software Microsoft Office 2016 con sus hojas Word y Excel. La presentación de los resultados fue en cuadros y figuras según corresponda y

para el procesamiento de los datos estadísticos se utilizó el software estadístico SPSS.

### **3.6. Materiales y equipos**

#### **Materia prima**

- Lactosuero dulce de Huánuco pampa de la provincia de dos de Mayo, región Huánuco.
- Lúcumá variedad ceda (*Pouteria obovata*), madura procedente de la localidad de Huánuco.
- Leche en polvo entera

#### **Insumos**

- Cultivo láctico Lyofast (SACCO)
- Azúcar blanca

#### **Materiales y equipos de laboratorio**

- Termómetro digital: Genérico; modelo WT-1
- Estufa: Kenmore 73433
- Mufla: thermolyne marca thermo scientific - FB1414M
- Potenciómetro: METROHM
- Refractómetro: Marca Hanna, modelo HI 9680
- Balanza gramera: Ranger R 3000 OHAUS
- Balanza comercial de pie: modo adventurer TM, DHAUS
- Equipo de titulación: Metrohm
- Espectrofotómetro: Marca Velap, modelo Ve-800A
- Centrífuga: Centrífuga Combo V24
- Licuadora industrial: Marca Oster
- Cocinillas eléctricas:
- Viscosímetro: brookfield, modelo RVDV – III U, procedencia U.S.A

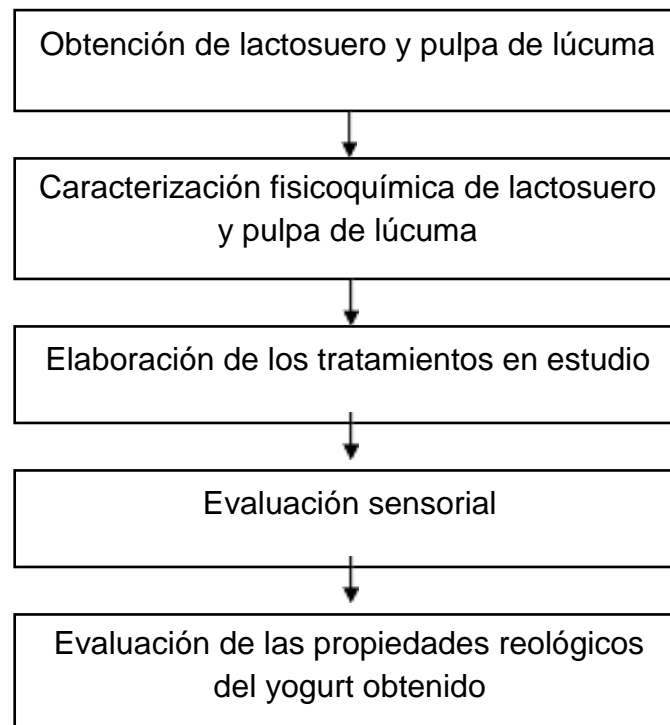
#### **Reactivos**

- Agua destilada- HARPER
- Hidróxido de sodio (NaOH) -PURQUIM REAGENT
- Ácido clorhídrico (HCl)- ACTIVADOR AL 4%

- Fenolftaleína
- Ácido sulfúrico – LIME SULFURS D.P
- Acido oxálico
- Éter de petróleo
- Buffer de pH 3.5
- Metanol

### 3.7. Conducción de la investigación

En la Figura 3, se presenta la secuencia experimental utilizada para la conducción y ejecución del trabajo de investigación.



**Figura 3.** Esquema experimental del trabajo de investigación

#### 3.7.1. Obtención de lactosuero y pulpa de lúcuma

De acuerdo a las recomendaciones de Franchi (2015), el diagrama de flujo para la obtención de y la descripción de operaciones.

#### **a. Leche**

Se recibió en esta etapa se obtuvo la leche de los establos los cuales fueron caracterizado para la calidad de materia prima

#### **b. Pesado**

Se realizó el pesado de 32 litros de leche del batch en estudio

#### **c. Pasteurización**

Consistió en calentar la leche hasta la temperatura de 65 °C y mantenerla por 15 segundos. Se realizó con la finalidad de destruir todos los gérmenes patógenos, que son los que causan enfermedades y a la mayoría de otros microorganismos que vienen con la leche, o que puedan haber ingresado por contaminación. Esta operación nos asegurará siempre, un queso de buena calidad.

#### **d. Acondicionamiento de temperatura**

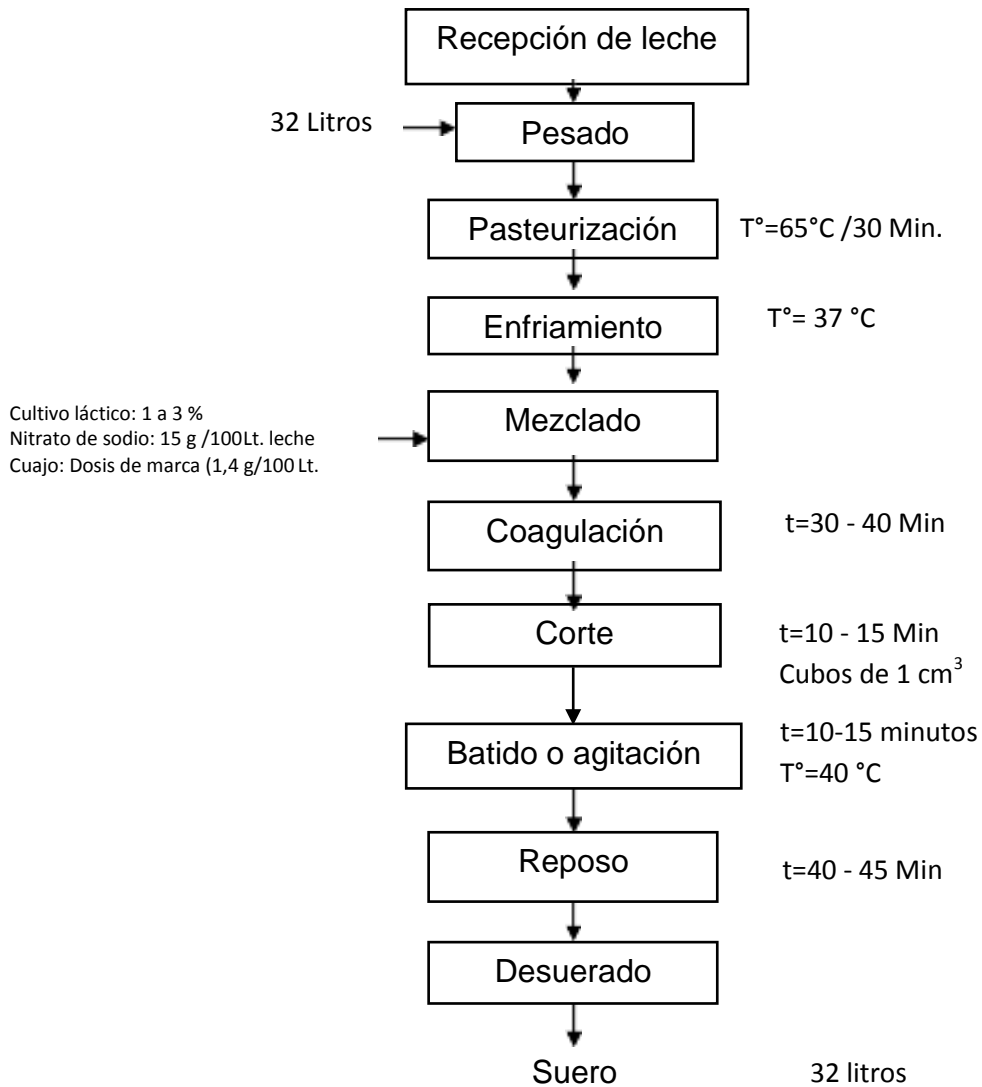
En esta etapa, se acondicionó la temperatura de la leche a 30 °C, que es la temperatura ideal para que se produzca la coagulación.

En algunos procesos de queso fresco se adiciona fermento láctico, en este es recomendable emplear una temperatura más baja como 32 °C. El fermento láctico mejora las características organolépticas del queso y ayuda a evitar el desarrollo de microorganismos contaminantes en el queso. Después de adicionar el fermento láctico se usó un tiempo de maduración de un reposo de 20 minutos.

#### **e. Mezclado**

En esta etapa, se le adicionó el Cloruro de Calcio, el calcio es fundamental para fortalecer la coagulación. La dosis que se empleó es de 20 gramos por 100 litros de leche.

Finalmente, se le adiciona el cuajo, que contiene enzimas coagulantes como la quimosina o renina; las cantidades que se empleó en la cantidad de leche y siempre son recomendadas por la elaboración. El cuajo uso ser en polvo. La cantidad de cuajo se determinó, se diluye en agua hervida fría, se le adicionó sal y se agitó hasta su completa disolución. Luego la solución de cuajo se adiciona a la leche agitando por unos 2 a 3 minutos luego se dejó en reposo para que se produzca la coagulación.



**Figura 4.** Diagrama de flujo para la obtención de suero dulce

#### f. Coagulación

La coagulación es el proceso por el cual la leche paso del estado líquido al estado de gel. Este proceso duro entre 30 a 40 minutos para el queso fresco. Cuando la leche ha tomado la firmeza de gel, se realizó la prueba del cuchillo, que consistió en efectuar un corte a la cuajada y levantarla, si el corte es limpio como una línea recta y se elimina suero inmediatamente, significa que la cuajada está lista para proceder al corte.

#### **g. Corte de la cuajada**

La cuajada se cortó con liras horizontales y verticales, el objetivo fue dividir la cuajada en cubitos uniformes de aproximadamente  $1\text{ cm}^3$  de lado por tiempo de 10-15 min. Esto ayudo a salir más rápidamente el suero, dependió de esto se logró la consistencia deseada del queso.

#### **h. Agitación o batido**

Se realizó al principio muy suavemente para no romper la cuajada, luego paulatinamente se va aumentando la velocidad de la agitación. Se notó que la cuajada va tomando más consistencia, y ofreciendo cierta resistencia a su rotura cuando se aprieto con los dedos de la mano. Esta primera agitación dura entre 10 y 15 minutos.

#### **i. Reposo**

Después del corte y agitación de la cuajada, este se encuentro muy frágil, por lo que fue conveniente dejarlo en reposo unos 40-45 minutos, para que adquiera consistencia y permita su agitación sin fragmentarse, lo que ocasionaría que las partículas de cuajada fragmentada se pierdan con el suero.

#### **j. Primer desuerado**

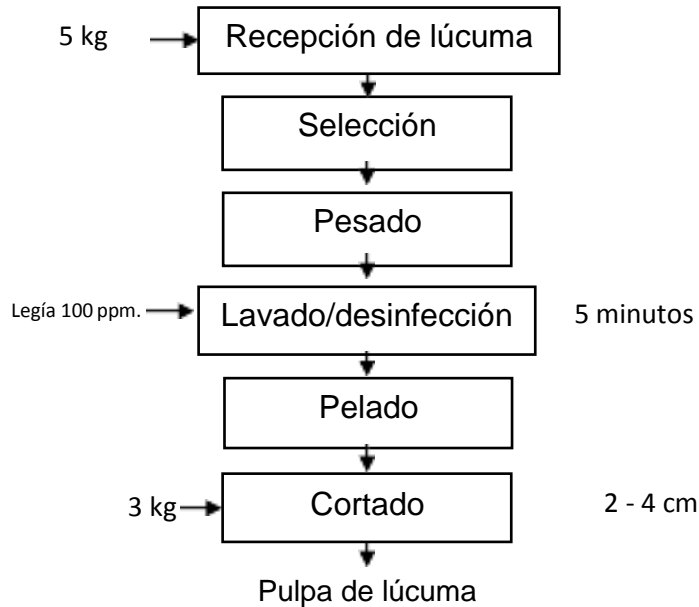
Se separó suero equivalente a un tercio del volumen inicial de leche. Con esa parte del suero, se está eliminando parte del ácido láctico desarrollado en el proceso, y gran proporción de la lactosa del suero.

#### **k. Segundo desuerado**

Se retiró prácticamente todo el suero, hasta el nivel de la cuajada para favorecer la acción del salado.

### 3.7.2. Obtención pulpa de lúcumo

Para la obtención de la pulpa de fruta lúcumo, que se muestra en la Figura 5, se siguió las recomendaciones (Codex alimentario, 2009).



**Figura 5.** Diagrama de flujo para la obtención de pulpa de lúcumo

- Recepción de lúcumo.** La lúcumo se recibió de acuerdo a su estado de madurez óptimo y características de calidad en el cual se verificó el peso.
- Selección.** En esta etapa se retiró la materia prima que presentaron daños mecánicos y podredumbres con la finalidad de obtener una lúcumo libre de deterioro.
- Pesado.** El pesado se realizó con fines de efectuar los rendimientos correspondientes en el proceso.
- Lavado/ desinfectado.** La lúcumo fue lavada por inmersión en agua potable limpia y fría luego fue desinfectado con hipoclorito de sodio a 100 ppm, sumergiéndolo por 5 min, posteriormente se realizó el enjuague con suficiente agua.
- Pelado.** Se eliminó la cáscara de la lúcumo con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable.

- f. **Cortado.** Se quitó la pepa y se efectuó cortando en forma de cubos de aproximadamente 2 a 4 cm para facilitar el licuado.
- g. **Molienda.** Se realizó con la ayuda de la licuadora industrial de acero la relación de agua y fruta en el licuado fue de 5 a 1.

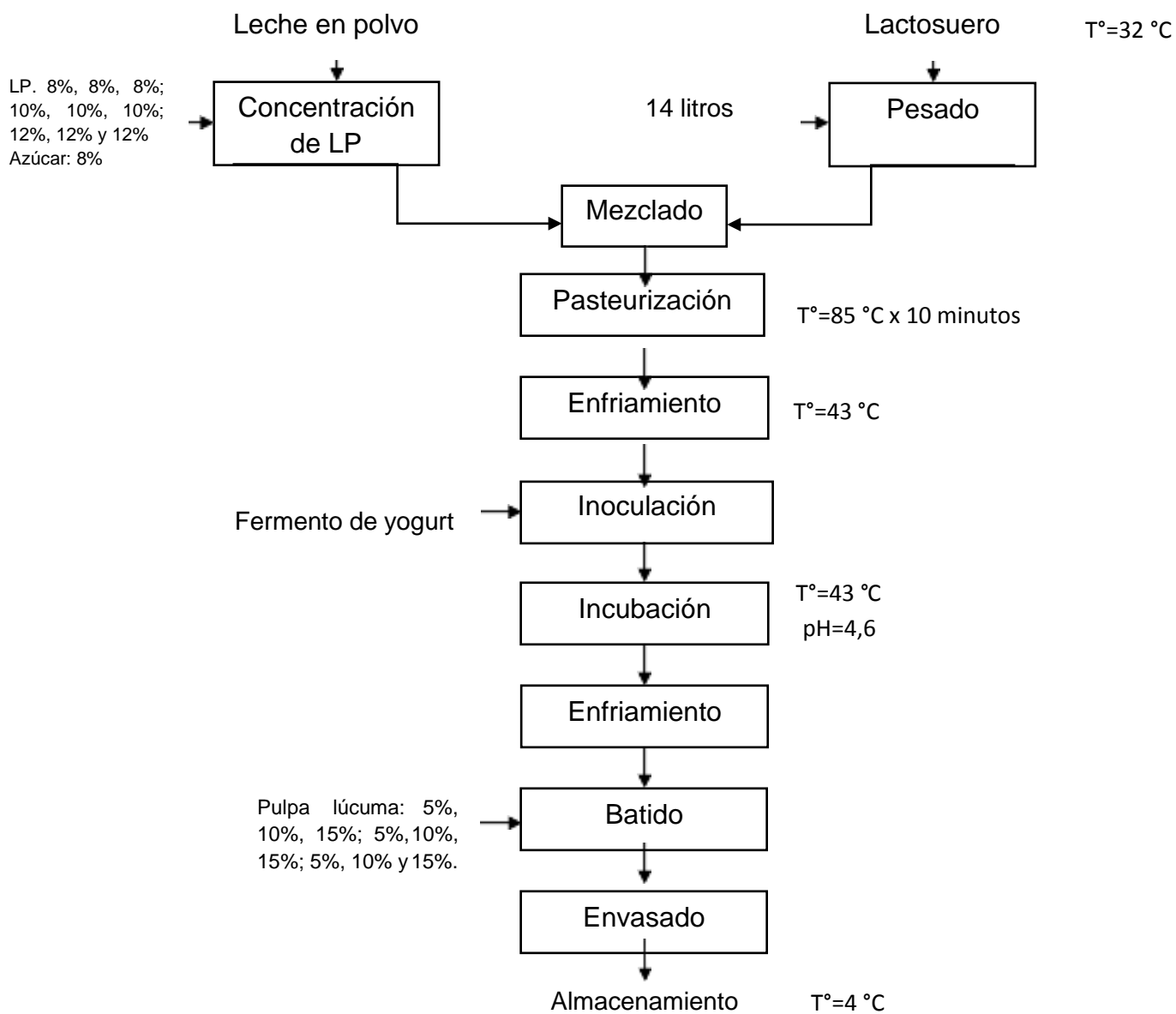
### 3.7.3. Caracterización físico-químico del lactosuero, pulpa de lúcuma

Se realizó los siguientes análisis fisicoquímicos a la materia prima:

- **Densidad:** se realizó mediante un lactodensímetro a 20 °C, (AOAC 1997)
- **pH:** mediante el método de potenciometría (AOAC, 1997), 10 gramos.
- **Acidez titulable:** Por el método titulación potenciométrica con NaOH 0,01 N (método 942,15 AOAC, 2007) 2 gramos de lúcuma fresca
- **Sólidos solubles (°Brix):** Se realizó mediante un refractómetro (modelo RHB – 80, Rango 0-80% °Brix), de acuerdo al método de la (AOAC, 1990) se utilizó 10 gramos.
- **Índice de madurez:** Se realizó por el método de relación entre sólido soluble y acidez titulable, propuesto por (García, 2007).
- **Humedad:** Se realizó por el método 920,151 (AOAC, 2007) en una estufa y por pérdida de peso. En una placa fue pesado unos 5 gramos.
- **Ceniza:** Fue realizado en un horno, mufla y por diferencia de peso.

### 3.7.4. Evaluación de concentración lactosuero dulce

En esta parte del estudio, en la elaboración del yogurt a base de lactosuero se evaluaron nueve tratamientos, que se obtuvieron de la combinación de las tres concentraciones de leche en polvo y las tres concentraciones de pulpa de lúcuma como se indicó en la Tabla 13. En la Figura 6, se muestra el diagrama de flujo utilizado en la investigación para la obtención de yogurt a base de lactosuero.

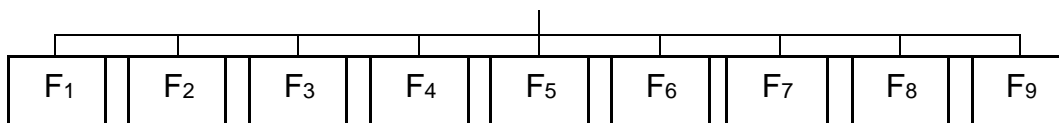


**Figura 6.** Diagrama de flujo para la obtención de yogurt a base de lactosuero

### a. Formulaciones

Se realizó el estudio a las nueve formulaciones a partir de una mezcla de leche en polvo y pulpa de lúcuma.

Estudio de formulaciones (leche en polvo y lactosuero dulce)



**b. Mezclado**

Se realizó la adición de las proporciones mencionados de la leche en polvo y lactosuero

**c. Pasteurización**

Se efectuó a 85 °C por 10 minutos. La finalidad de esta operación es en primer lugar eliminar gérmenes patógenos y reducir la carga microbiana presente en el lactosuero, además la pasteurización con los parámetros indicados, favorece una buena coagulación y reduce la separación del suero del producto final, se sigue las recomendaciones del autor.

**d. Enfriamiento**

El lactosuero se enfrió hasta 43 °C, que es la temperatura óptima para adicionar el cultivo de yogurt y el desarrollo de los microorganismos

**e. Inoculación del cultivo de yogurt**

El cultivo de yogurt está formado por ( *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*).

**f. Incubación**

En esta etapa, se produce la fermentación láctica producida por los microorganismos del yogurt, la incubación se realizó a la temperatura de 43°C.

La incubación se efectuó hasta que el lactosuero alcance un pH menor o igual a 4,6. Se mantuvo constante la temperatura de 43 °C, durante todo el período que duró el proceso de fermentación.

**g. Enfriamiento**

Cuando se alcanzó el pH requerido, la temperatura se bajó rápidamente a 18-20 °C. Esto retarda el incremento posterior de la acidez.

**h. Batido**

Una vez que alcanzó el yogurt la temperatura antes mencionada (menor a 20°C) el gel se sometió a un tratamiento mecánico suave de batido, hasta lograr una consistencia homogénea junta con la pulpa de lúcuma adicionada en una proporción se menciona en la tabla 13.

**i. Envasado y almacenamiento**

El envasado del yogurt se efectuó en condiciones asépticas e inmediatamente debe almacenarse en refrigeración, su tiempo de duración es de 3-4 semanas a una temperatura de 4 a 5 °C.

### **3.7.5. Evaluación sensorial**

Se evaluaron las características sensoriales aroma, color, olor y aceptación general, mediante un panel semi entrenados de 20 personas, los datos registrados fueron analizados estadísticamente a través de la prueba no paramétrica Friedman la ficha de evaluación sensorial se muestra en el anexo 2, de este estudio se seleccionó al mejor tratamiento para continuar en la siguiente (Sotomayor, 2008).

### **3.7.6. Evaluación de las propiedades reológicas del yogurt obtenido**

- Se seleccionó la muestra de yogurt, con la formulación de 9 tratamientos
- Cada muestra a analizar se puso en un vaso precipitado de 500 ml.
- Se preparó el equipo (reómetro) para las diferentes corridas a realizar.
- Se colocó la muestra de 500 ml de yogurt a base de lactosuero dulce en el (Husillo RV3, Modelo RV) del reómetro, a la temperatura 25 °C y se fijó la velocidad de rotación a la cual fue analizada la muestra.
- Se realizó la corrida experimental a los 9 tratamientos y por cada réplica se realizó por triplicado para obtener puntos exactos.
- El reómetro dio como resultados los valores del torque (lectura par en %) y la velocidad de rotación del husillo en RPM de la muestra a la temperatura de experimentación.
- Con los datos obtenidos del reómetro se realizó la regresión de los modelos reológicos y el análisis estadístico para encontrar el modelo de fluido no newtoniano que se asocia al comportamiento del yogurt a base de lactosuero dulce, y se obtuvo a la vez los diferentes reogramas de cada tratamiento.

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1. Caracterización físico-químico del lacto suero y pulpa de lúcuma

En las Tablas 12, 13 y 14 se muestran la caracterización fisicoquímica de lacto suero y pulpa de lúcuma (*pouteria obovata*), índice de madurez de lúcuma.

**Tabla 12.** Caracterización físico-químico de lacto suero base a 100 gramos

Componentes	Cantidad
Agua %	92,1 ± 91,1
Proteína %	3,2 ± 0,005
Grasa %	2,2 ± 0,002
Ceniza %	0,89 ± 0,04
Densidad g/ml	1,0279 ± 0,083
Sólidos solubles % (°Brix)	6,25 ± 0,08
Acidez titulable %	0,15 ± 0,09
pH	6,30 ± 0,14

En la Tabla 12, se observa las características fisicoquímicas del lacto suero a base de 100 gramos donde tiene un alto porcentaje de agua 92,1 %. Se destaca una presencia significativa de azúcar (6,25 %), la misma que será importante puesto que forma parte de los sólidos totales en el proceso del yogurt. El pH determinado mostró una tendencia a la neutralidad alcanzando un valor de promedio de 6,25. Se evidencia también en el lactosuero, contenidos de proteínas 3,2 % que es significativo si es aprovechado convenientemente, el contenido de cenizas 0,89 % que se relaciona con presencia de minerales.

**Tabla 13.** Caracterización físico-químico pulpa de lúcuma (*pouteria obovata*) base a 500 gramos

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>
Humedad (g)	65,9 ± 3,9
Proteína (g)	3,1 ± 0,01
Carbohidratos (g)	27 ± 25,75
Grasa (g)	0,1 ± 0,13
Fibra (g)	1,4 ± 1,3
Ceniza (g)	2,0 ± 2
Acides/titulable %	0,29 ± 0,02
pH	6,0 ± 0,03
% sólidos solubles (°Brix)	22 ± 1,9

### Índice de madurez

En la Tabla 14, se observa el índice de madurez de la lúcuma.

**Tabla 14.** Características físicas de la fruta de lúcuma en estado de madurez

<b>Índice de madurez</b>	<b>Características sensoriales</b>
Madura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee un fuerte aroma característico.</li> <li>- Presenta una consistencia blanda</li> <li>- La piel es desprendible con facilidad</li> <li>- Presenta un color característico intenso</li> <li>- Posee un sabor agradable</li> <li>- No presenta mayor astringencia</li> <li>- Presenta una baja acidez</li> <li>- Los sólidos solubles son 28±1 °Brix</li> <li>- pH es de 5,03±0,13</li> </ul>

En la Tabla 14, se destaca que las características sensoriales obtenidas en la evaluación como color, sabor y aroma son característico a este tipo de fruta.

#### 4.2. Evaluación sensorial del estudio de formulaciones

En la tabla 15 y anexo 2 se muestra los resultados de la evaluación sensorial mediante la prueba de Friedman ( $p < 0,05$ ), que señala en los nueve tratamientos diferencias significativas en los atributos de sabor, color, olor y consistencia.

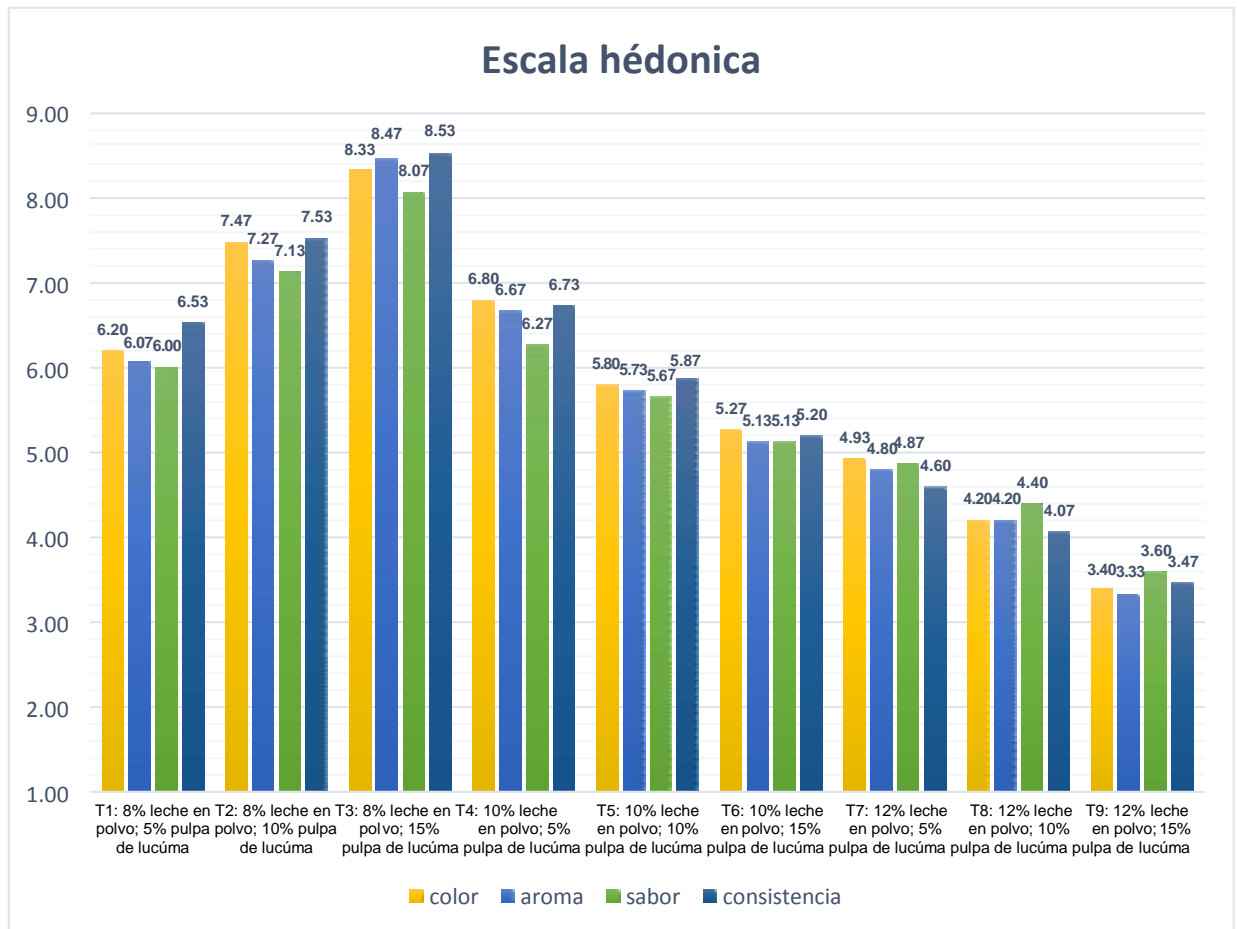
De igual forma en la figura 7 se muestra de forma gráfica la media de cada tratamiento y atributo por columnas

**Tabla 15.** Clasificación de los tratamientos de acuerdo a los atributos sensoriales.

Tratamiento	Atributos sensoriales			
	Color	Aroma	Sabor	Consistencia
T <sub>1</sub> :8%LP;5%PL	6,20 <sup>c</sup>	6,07 <sup>c</sup>	6,00 <sup>c</sup>	6,53 <sup>c</sup>
T <sub>2</sub> :8%LP;10%PL	7,47 <sup>b</sup>	7,27 <sup>b</sup>	7,13 <sup>b</sup>	7,53 <sup>b</sup>
T <sub>3</sub> :8%LP;15%PL	8,33 <sup>a</sup>	8,47 <sup>a</sup>	8,07 <sup>a</sup>	8,53 <sup>a</sup>
T <sub>4</sub> :10%LP;5%PL	6,80 <sup>cb</sup>	6,67 <sup>cb</sup>	6,27 <sup>cb</sup>	6,73 <sup>c</sup>
T <sub>5</sub> :10%LP;10%PL	5,80 <sup>cd</sup>	5,73 <sup>dc</sup>	5,67 <sup>dc</sup>	5,87 <sup>dc</sup>
T <sub>6</sub> :10%LP;15%PL	5,27 <sup>d</sup>	5,13 <sup>d</sup>	5,13 <sup>d</sup>	5,20 <sup>d</sup>
T <sub>7</sub> :12%LP;5%PL	4,93 <sup>d</sup>	4,80 <sup>d</sup>	4,87 <sup>d</sup>	4,60 <sup>d</sup>
T <sub>8</sub> :12%LP;10%PL	4,20 <sup>ed</sup>	4,20 <sup>ed</sup>	4,40 <sup>de</sup>	4,07 <sup>de</sup>
T <sub>9</sub> :12%LP;15%PL	3,40 <sup>f</sup>	3,33 <sup>f</sup>	3,60 <sup>fe</sup>	3,47 <sup>fe</sup>

En la Tabla 15 y Figura 7, se observa que de los nueve los mejores valores aceptables correspondiente al tratamiento 3 (color 8,33, aroma 8,47, sabor

8,07 y consistencia 8,53) superiores a 8 y cercanos a 9 obteniendo, no existiendo diferencias estadístico entre ellos correspondiente a los calificativos en la escala hedónica de “muy bueno y excelente”



**Figura 7.** Evaluación sensorial de yogurt a base de lactosuero

### 4.3. Evaluación de las propiedades reológicas y obtención del yogurt

#### Modelo Bingham

En la tabla 16 y Figura 8 se muestra los resultados de la regresión de los modelos reológicos de Bingham.

$$\tau = \tau_0 + Kx(\gamma)$$

Consta de 2 parámetros, índice de consistencia K e umbral de fluencia  $\tau_0$ . De los resultados de la regresión con el modelo de Bingham se puede observar que el umbral  $\tau_0$  y el índice de consistencia de Bingham (K) aumenta con la

concentración de la leche. Los reogramas “tau – gama” muestran el comportamiento reológico derivado del modelamiento, así como en el reograma de viscosidad aparente la línea con tendencia a ser horizontal describe un comportamiento cercano a lo ideal.

Ecuación de modelo

$$\hat{y}_i = \tau_0 + Kx_i$$

Función objetivo

$$S = \sum [y_i - (\tau_0 + Kx_i)]^2$$

Sistema de ecuaciones para hallar  $\tau_0$  y  $K$

$$-\frac{1}{2} \frac{dS}{d\tau_0} = \sum [y_i - (\tau_0 + Kx_i)] = 0$$

$$-\frac{1}{2} \frac{dS}{dK} = \sum [y_i - (\tau_0 + Kx_i)]x_i = 0$$

Ecuaciones para hallar los estadísticos

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - P}$$

Donde

$y_i$ : datos de esfuerzo de corte

$x_i$ : datos de velocidad de corte

$\bar{y}$ : promedio de datos de esfuerzo de corte

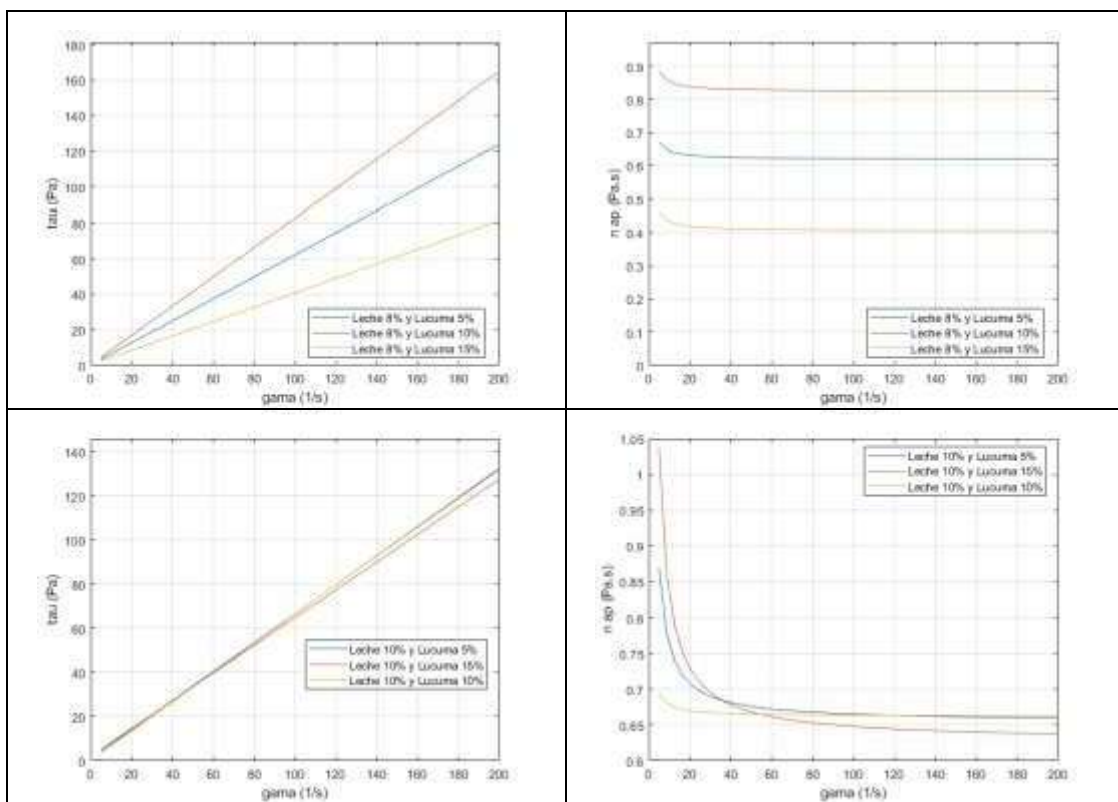
$\hat{y}_i$ : datos de esfuerzo de corte proyectados con el modelo

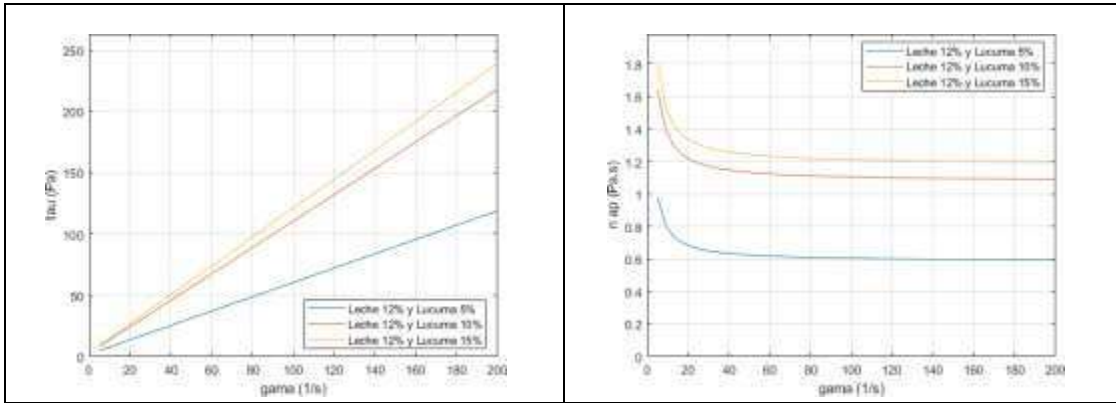
N: numero de observaciones

P: numero de parámetros del modelo

**Tabla 16.** Modelo Bingham

Leche (%)	Lúcuma (%)	t0	k	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	MSE
8	5	0.2593	0.6183	0.9996	0.9995	0.0111
8	10	0.3049	0.823	0.9991	0.9991	0.0392
8	15	0.2877	0.4051	0.9954	0.9952	0.1016
10	5	1.0756	0.6545	1.0000	1.0000	0.0011
10	10	2.0462	0.6274	0.9997	0.9997	0.0098
10	15	0.1645	0.662	0.9998	0.9998	0.0082
12	5	1.9709	0.5851	0.9997	0.9997	0.0051
12	10	2.8226	1.0767	0.9988	0.9986	0.0597
12	15	3.1188	1.1804	0.9984	0.9982	0.0517





**Figura 8.** Reogramas del modelo Bingham

### Modelo Casson

En la tabla 17 y Figura 9 se muestra los resultados de la regresión de los modelos reológicos de Casson.

$$\tau^{0.5} = K_{OC} + K_C \gamma^{0.5}$$

$\tau$  : Esfuerzo cortante (Pa)

$K_C$ : Índice de consistencia de Casson (Pa. s<sup>0.5</sup>)

$K_{OC}$ : Constante de Casson (Pa<sup>0.5</sup>)

$\gamma$  : Velocidad de corte (1/s)

Consiste de 2 parámetros  $K_{OC}$  y  $K_C$ . De la regresión con el modelo de Casson se puede observar un comportamiento del tipo plástico real a partir del 10 % en peso de leche. La curvatura del reograma de viscosidad, así como el del diagrama de esfuerzo representan a un fluido plástico real.

Ecuación de modelo

$$\hat{y}_i = (K_{OC} + K_C x_i^{0.5})^2$$

Función objetivo

$$S = \sum [y_i - (K_{OC} + K_C x_i^{0.5})^2]^2$$

Sistema de ecuaciones para hallar  $K_{OC}$  y  $K_C$

$$-\frac{1}{4} \frac{dS}{dK_{OC}} = \sum [y_i - (K_{OC} + K_C x_i^{0.5})^2] [K_{OC} + K_C x_i^{0.5}] = 0$$

$$-\frac{1}{4} \frac{dS}{dK_C} = \sum [y_i - (K_{OC} + K_C x_i^{0.5})^2] [(K_{OC} + K_C x_i^{0.5}) x_i^{0.5}] = 0$$

Ecuaciones para hallar los estadísticos

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - P}$$

Donde

$y_i$ : datos de esfuerzo de corte

$x_i$ : datos de velocidad de corte

$\bar{y}$ : promedio de datos de esfuerzo de corte

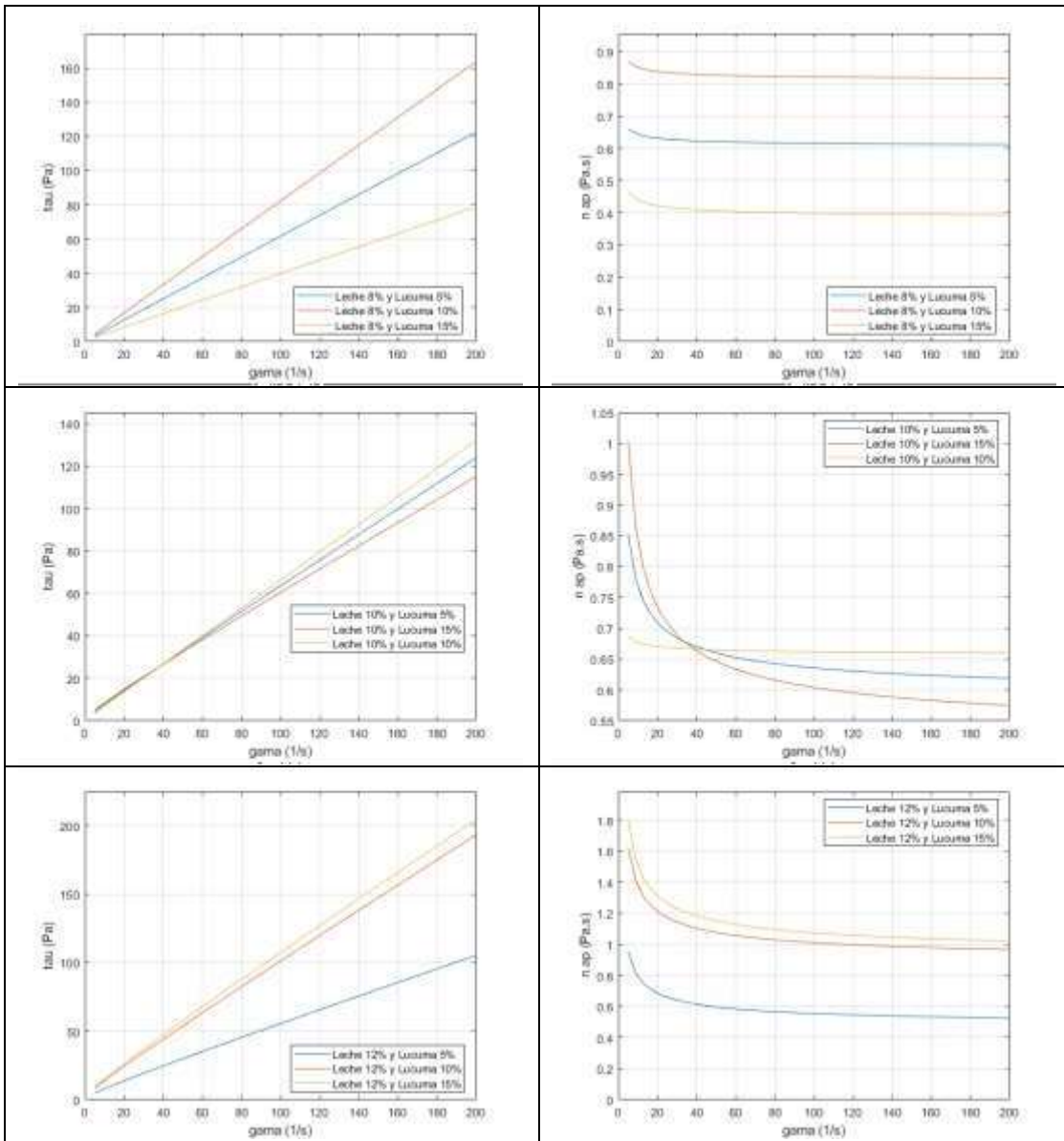
$\hat{y}_i$ : datos de esfuerzo de corte proyectados con el modelo

N: número de observaciones

P: número de parámetros del modelo

**Tabla 17. Modelo Casson**

Leche (%)	Lúcuma (%)	$K_{oc}$	$K_C$	$R^2$	$R^2_{adj}$	MSE
8	5	0.0808	0.7768	0.9994	0.9993	0.0155
8	10	0.0744	0.8992	0.9989	0.9988	0.0481
8	15	0.1478	0.6166	0.9939	0.9936	0.1358
10	5	0.3648	0.7608	0.9997	0.9997	0.0071
10	10	0.6471	0.7124	0.9999	0.9999	0.0037
10	15	0.0428	0.8093	0.9997	0.9997	0.0108
12	5	0.6702	0.6779	0.9998	0.9998	0.0036
12	10	0.7755	0.9278	0.9999	0.9998	0.0068
12	15	0.882	0.9483	0.9997	0.9997	0.0081



**Figura 9.** Reo gramas del modelo Casson

### Modelo Herschel Bulkley

En la tabla 18 y Figura 10 se muestra los resultados de la regresión de los modelos reológicos de Herschel Bulkley.

$$\tau = \tau_{OH} + K_H \gamma^{n_M}$$

$\tau$  : Esfuerzo cortante (Pa)

$\tau_{OH}$  : Umbral de fluencia (Pa<sup>n</sup>)

$K_H$ : Constante de Bulkley (Pa.s<sup>n</sup>)

$\gamma$  : Velocidad de corte (1/s)

$n_M$  Índice de flujo

El modelo consiste de 3 parámetros:  $\tau_{0H}$ ,  $K_H$  y  $n_H$ , donde  $n_H$  representa el índice de flujo el cual es ampliamente utilizado, si  $n_H=1$ , el comportamiento del fluido viene a ser ideal; sin embargo, para nuestro caso de estudio, los valores de  $n_H$  se encuentran fluctuando alrededor de 1 lo que indica que los porcentajes de leche y lúcumas tienen efecto en el índice de flujo que puede ser considerado.

Ecuación de modelo

$$\hat{y}_i = \tau_{0H} + K_H x_i^{n_H}$$

Función objetivo

$$S = \sum [y_i - (\tau_{0H} + K_H x_i^{n_H})]^2$$

Sistema de ecuaciones para hallar  $\tau_{0H}$ ,  $K_H$  y  $n_H$

$$-\frac{1}{2} \frac{dS}{d\tau_{0H}} = \sum [y_i - (\tau_{0H} + K_H x_i^{n_H})] = 0$$

$$-\frac{1}{2} \frac{dS}{dK_H} = \sum [y_i - (\tau_{0H} + K_H x_i^{n_H})] x_i^{n_H} = 0$$

$$-\frac{1}{2} \frac{dS}{dn_H} = \sum [y_i - (\tau_{0H} + K_H x_i^{n_H})] [K_H x_i^{n_H} \ln x_i] = 0$$

Ecuaciones para hallar los estadísticos

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - P}$$

Donde

$y_i$ : datos de esfuerzo de corte

$x_i$ : datos de velocidad de corte

$\bar{y}$ : promedio de datos de esfuerzo de corte

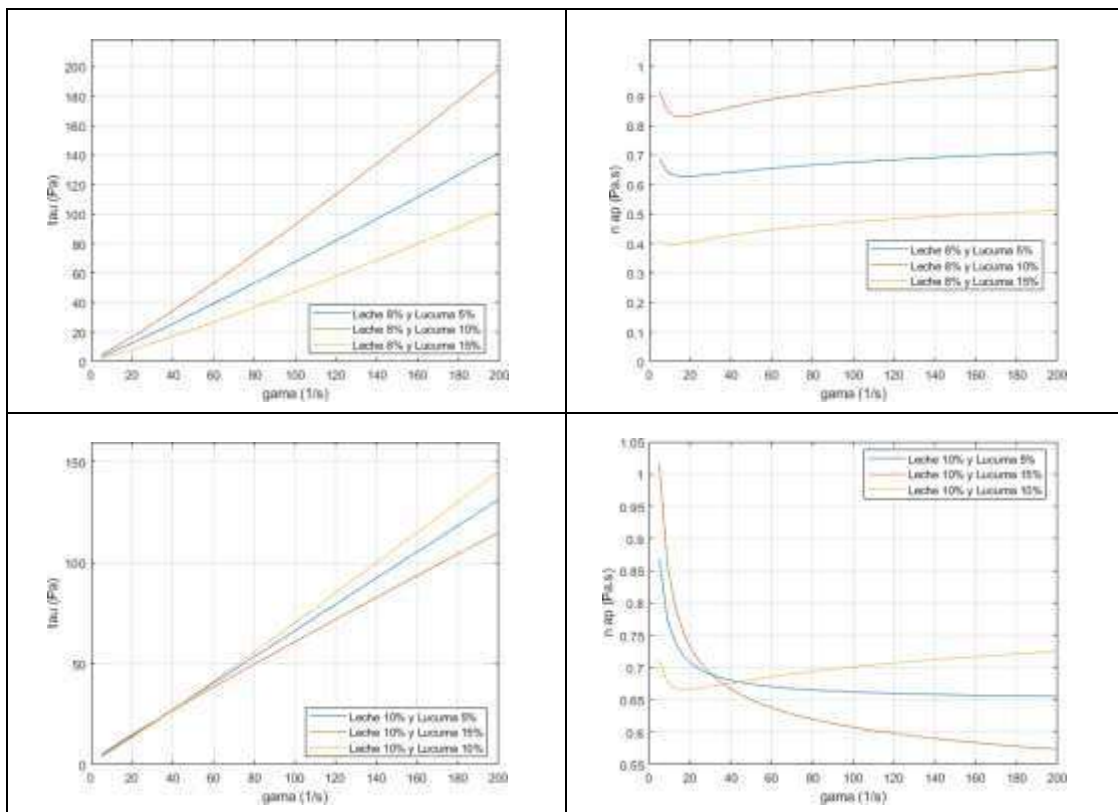
$\hat{y}_i$ : datos de esfuerzo de corte proyectados con el modelo

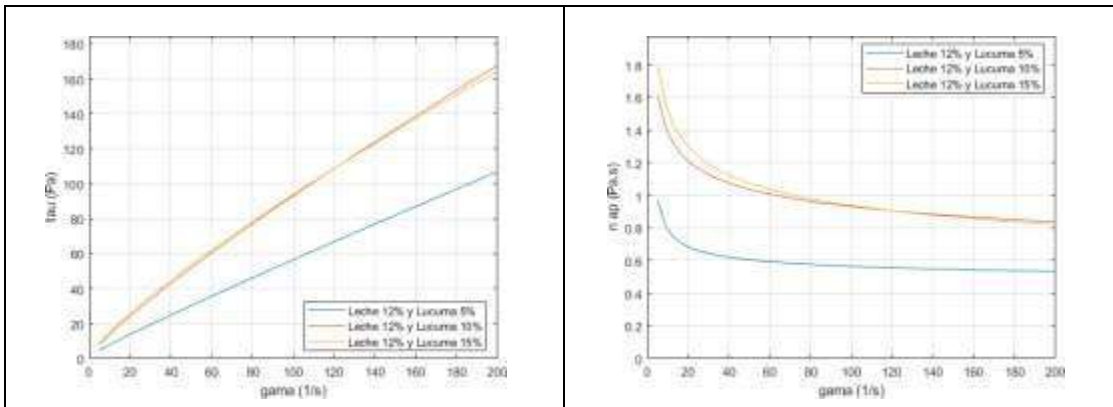
N: número de observaciones

P: número de parámetros del modelo

**Tabla 18.** Modelo Herschel Bulkley

Leche (%)	Lúcuma (%)	$t_{0H}$	$k_H$	$n_H$	$R^2$	$R^2_{adj}$	MSE
8	5	0.7827	0.4676	1.0775	0.9999	0.9999	0.0016
8	10	1.246	0.5592	1.1074	0.9998	0.9998	0.0074
8	15	0.4274	0.2642	1.1244	1.0000	1.0000	3.67E-04
10	5	1.0448	0.664	0.996	1.0000	1.0000	0.0011
10	10	1.4551	0.8071	0.9331	1.0000	1.0000	6.10E-04
10	15	0.6142	0.5392	1.0551	1.0000	1.0000	5.80E-04
12	5	1.5081	0.7361	0.9369	1.0000	1.0000	3.50E-04
12	10	0.9575	1.7937	0.8554	1.0000	1.0000	0.0019
12	15	0.8877	2.1836	0.8145	0.9999	0.9999	0.0021





**Figura 10.** Reogramas del modelo Herschel Bulkley

### Modelo Mizrahi Berk

En la tabla 19 y Figura 11 se muestra los resultados de la regresión de los modelos reológicos de Mizrahi Berk.

$$\tau^{0.5} = \tau_{OM} + K_M \gamma^{n_M}$$

$\tau$  : Esfuerzo cortante (Pa)

$\tau_{OM}$  : Constante de Mizrahi Berk (Pa<sup>0.5</sup>)

$K_M$ : Índice de consistencia de Mizrahi Berk (Pa. s<sup>n</sup>)

$\gamma$  : Velocidad de corte (1/s)

$n_M$  Índice de flujo

Es una adaptación del modelo de Herschel Bulkley, en el cual las expresiones de tau son elevadas a la raíz cuadrada y gama ahora contempla el índice de flujo. La curvatura de los reogramas así como los valores de  $n < 1$  evidencian un comportamiento plástico real.

Ecuación de modelo

$$\hat{y}_i = (\tau_{OM} + K_M x_i^{n_M})^2$$

Función objetivo

$$S = \sum [y_i - (\tau_{OM} + K_M x_i^{n_M})^2]^2$$

Sistema de ecuaciones para hallar  $\tau_{OM}$ ,  $K_M$  y  $n_M$

$$-\frac{1}{4} \frac{dS}{d\tau_{OM}} = \sum [y_i - (\tau_{OM} + K_M x_i^{n_M})^2] [\tau_{OM} + K_M x_i^{n_M}] = 0$$

$$-\frac{1}{4} \frac{dS}{dK_M} = \sum_i [y_i - (\tau_{0M} + K_M x_i^{n_M})^2] [\tau_{0M} x_i^{n_M} + K_M x_i^{2n_M}] = 0$$

$$-\frac{1}{4} \frac{dS}{dn_M} = \sum_i [y_i - (\tau_{0M} + K_M x_i^{n_M})^2] [(\tau_{0M} + K_M x_i^{n_M})(K_M x_i^{n_M} \ln x_i)] = 0$$

Ecuaciones para hallar los estadísticos

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - P}$$

Donde

$y_i$ : datos de esfuerzo de corte

$x_i$ : datos de velocidad de corte

$\bar{y}$ : promedio de datos de esfuerzo de corte

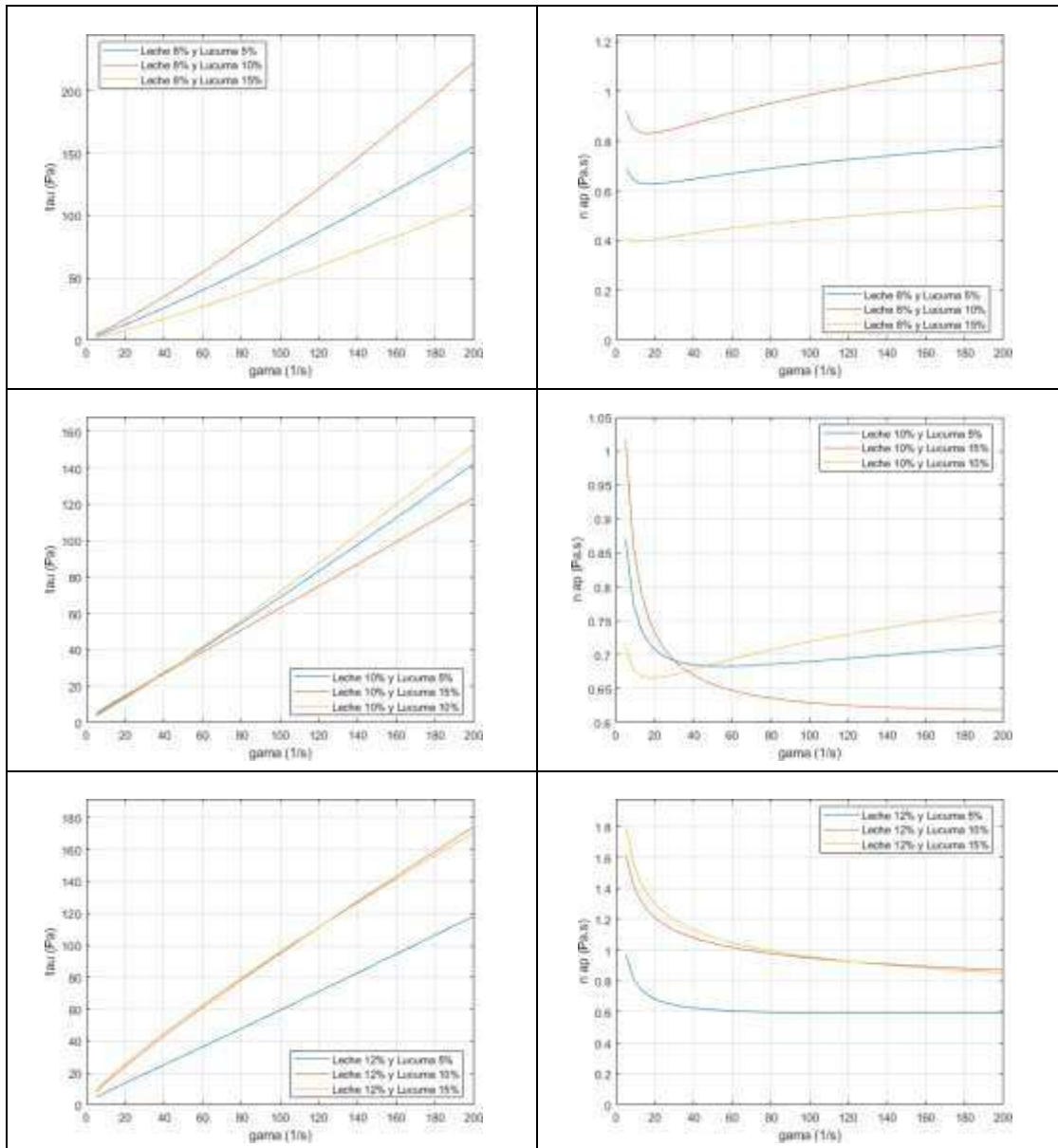
$\hat{y}_i$ : datos de esfuerzo de corte proyectados con el modelo

N: número de observaciones

P: número de parámetros del modelo

**Tabla 19.** Modelo Mizrahi Berk

Leche (%)	Lúcuma (%)	$\tau_{0M}$	$k_M$	$n_M$	$R^2$	$R^2_{adj}$	MSE
8	5	0.5587	0.4928	0.6014	1.0000	1.0000	7.26E-04
8	10	0.7522	0.5043	0.6299	0.9999	0.9999	0.0052
8	15	0.3475	0.4085	0.6043	1.0000	1.0000	6.84E-04
10	5	0.6585	0.5793	0.5604	0.9999	0.9999	0.0015
10	10	0.824	0.6043	0.5353	1.0000	1.0000	0.0013
10	15	0.416	0.5905	0.5677	1.0000	1.0000	7.39E-04
12	5	0.8933	0.538	0.5513	1.0000	1.0000	5.25E-04
12	10	0.4936	1.1233	0.4579	1.0000	1.0000	0.0022
12	15	0.4637	1.2593	0.4347	0.9999	0.9999	0.0023



**Figura 11.** Reogramas del modelo Mizrahi Berk

### Modelo Ostwald de Waele

En la tabla 20 y Figura 12 se muestra los resultados de la regresión de los modelos reológicos de Ostwald de Waele.

$$\tau = k\gamma^n$$

$\tau$  : Esfuerzo cortante (Pa)

$K$  : Índice de consistencia (Pa. s<sup>n</sup>)

$\gamma$  : Velocidad de corte (1/s)

$n$  : Índice de flujo

Conocido como el modelo de ley de potencia, consta de 2 parámetro K y n.

En la regresión de la data reológica del yogurt se puede distinguir los resultados basándose en los reogramas de viscosidad los cuales presentan una curvatura cóncava para el caso de fluidos no newtonianos del tipo plástico real o pseudoplásticos.

Ecuación de modelo

$$\hat{y}_i = Kx_i^n$$

Función objetivo

$$S = \sum [y_i - Kx_i^n]^2$$

Sistema de ecuaciones para hallar  $K$  y  $n$

$$-\frac{1}{2} \frac{dS}{dK} = \sum [y_i - Kx_i^n][x_i^n] = 0$$

$$-\frac{1}{2} \frac{dS}{dn} = \sum [y_i - Kx_i^n][Kx_i^n \ln x_i] = 0$$

Ecuaciones para hallar los estadísticos

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - P}$$

Donde

$y_i$ : datos de esfuerzo de corte

$x_i$ : datos de velocidad de corte

$\bar{y}$ : promedio de datos de esfuerzo de corte

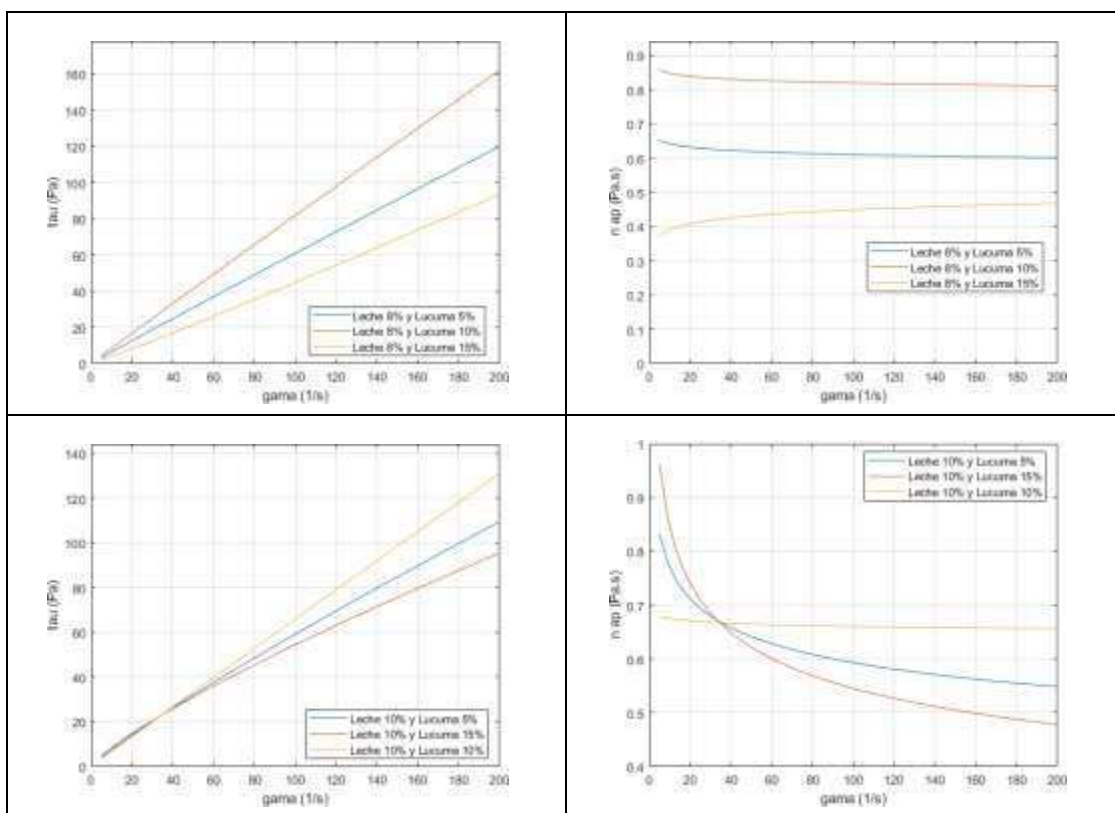
$\hat{y}_i$ : datos de esfuerzo de corte proyectados con el modelo

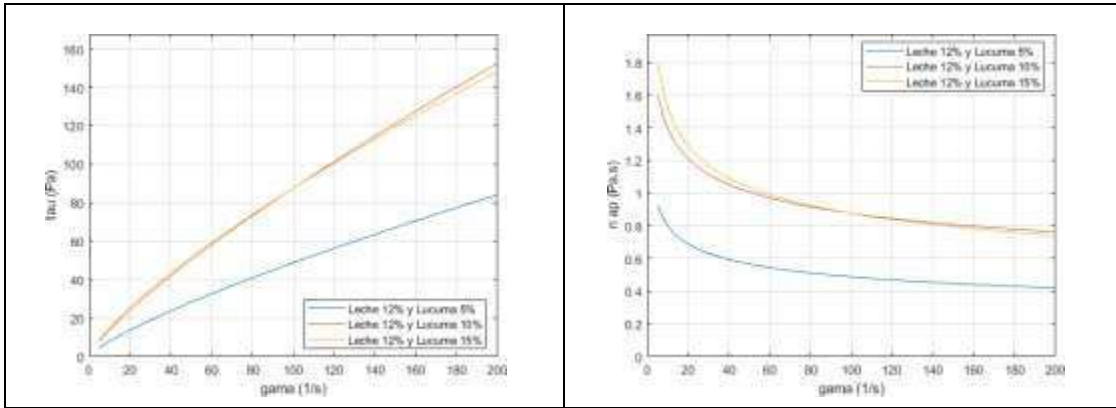
N: número de observaciones

P: número de parámetros del modelo

**Table 20.** Modelo Ostwald de Waele

Leche (%)	Lúcuma (%)	k	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	MSE
8	5	0.6748	0.9782	0.9992	0.9992	0.0194
8	10	0.8773	0.9852	0.9988	0.9987	0.0545
8	15	0.3416	1.0594	0.9996	0.9996	0.0084
10	5	0.9981	0.8869	0.9991	0.999	0.0235
10	10	1.3044	0.8106	0.9988	0.9988	0.0361
10	15	0.6895	0.9907	0.9997	0.9996	0.0126
12	5	1.3039	0.7863	0.9984	0.9983	0.0315
12	10	2.2038	0.7996	0.9998	0.9997	0.0114
12	15	2.637	0.7605	0.9998	0.9998	0.0064

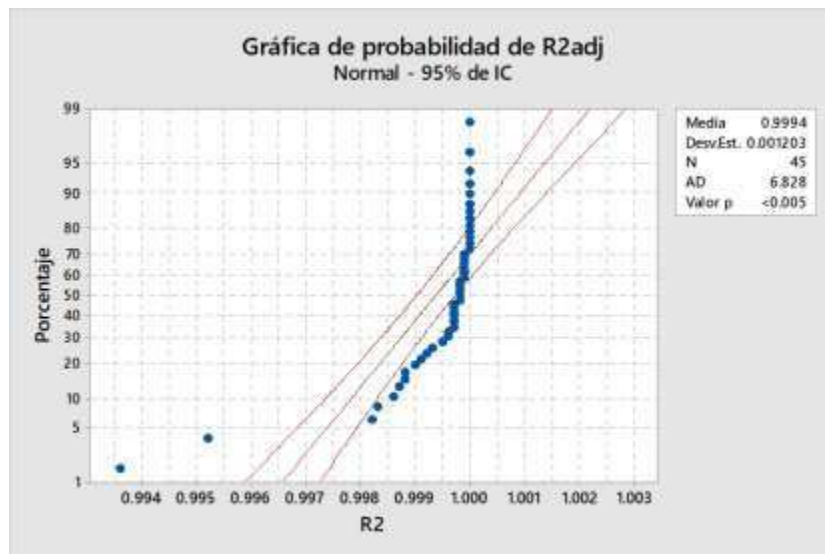




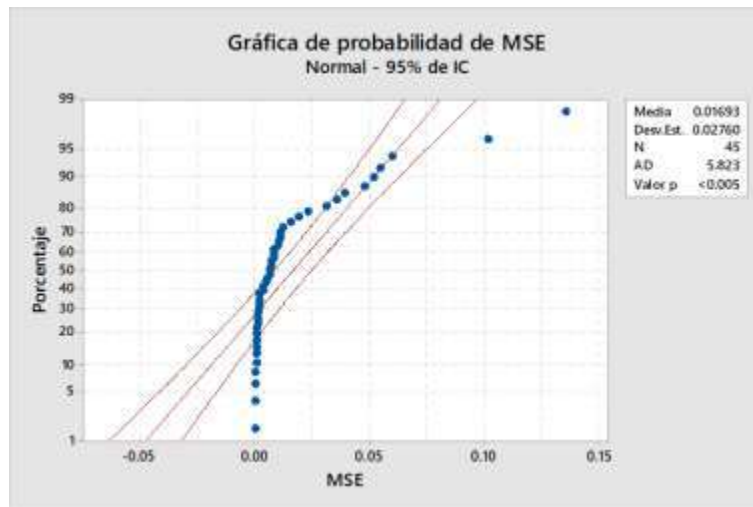
**Figura 12.** Reogramas del modelo Ostwald de Waele

### **Análisis estadístico para los modelos reológicos.**

En la Figura 13 y 14, prueba de normalidad para el ajuste de los modelos reológicos. De la prueba de normalidad aplicada sobre el índice de correlación ( $R^2_{adj}$ ) y el error cuadrado medio (MSE), donde  $p < 0.05$ , se infiere que los datos presentan una distribución no normal, por tanto, puede hacerse uso de la estadística no paramétrica.



**Figura 13.** Figura de probabilidad de R2adj Normal – 95% de IC



**Figura 14.** Figura de probabilidad de MSE Normal - 95% de IC

**a) Prueba de Kruskal wallis.**

En la Tabla 21 y 22, la prueba de Kruskal Wallis para el índice de correlación ( $R^2_{adj}$ ) y el error cuadrado medio (MSE), donde ( $p=0 < 0.05$ ), se infiere que existen diferencias significativas entre el grado de ajuste y el error cuadrado medio que cada modelo ofrece frente a los datos reales. Esto implica que cada modelo tiene un diferente nivel de correlación y entre ellos existen diferencias significativas, por lo cual se deberá escoger uno de ellos para la representación reológica del yogurt.

**Tabla 21.** Prueba de Kruskal wallis  $R^2$  vs. Modelo

**Prueba de Kruskal-Wallis:  $R^2$  vs. Modelo**  
**Estadísticas descriptivas**

Modelo	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Bingham	9	0.9995	14.8	-2.10
Casson	9	0.9997	17.1	-1.52
Herchel	9	1.0000	35.2	3.12
Mizrahi	9	1.0000	35.8	3.28
Ostwald	9	0.9992	12.1	-2.78
General	45		23.0	

**Prueba**

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	4	27.94	0.000
Ajustado para empates	4	28.81	0.000

**Tabla 22.** Prueba de Kruskal-Wallis: varianza vs. Modelo

**Prueba de Kruskal-Wallis: MSE vs. Modelo**

**Estadísticas descriptivas**

Modelo	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Bingham	9	0.0111	31.5	2.17
Casson	9	0.0081	28.8	1.48
Herchel	9	0.0011	9.8	-3.36
Mizrahi	9	0.0013	11.2	-3.01
Ostwald	9	0.0194	33.7	2.72
General	45		23.0	

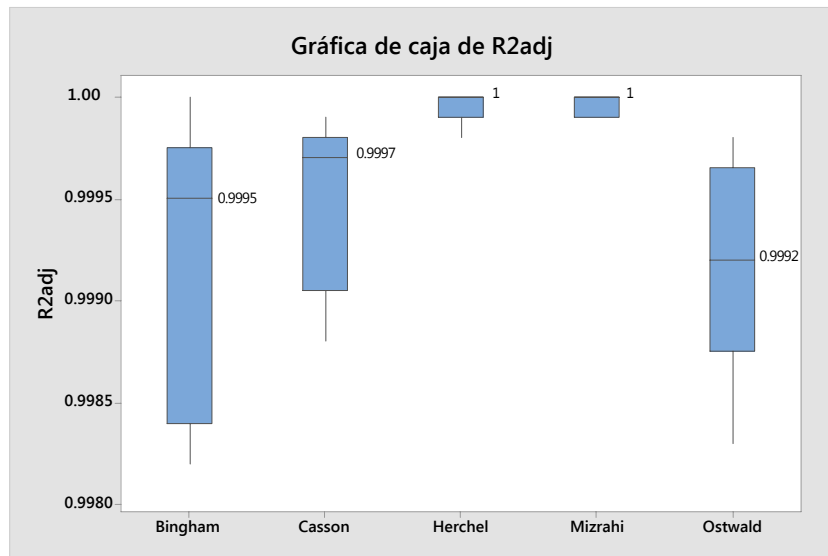
**Prueba**

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales

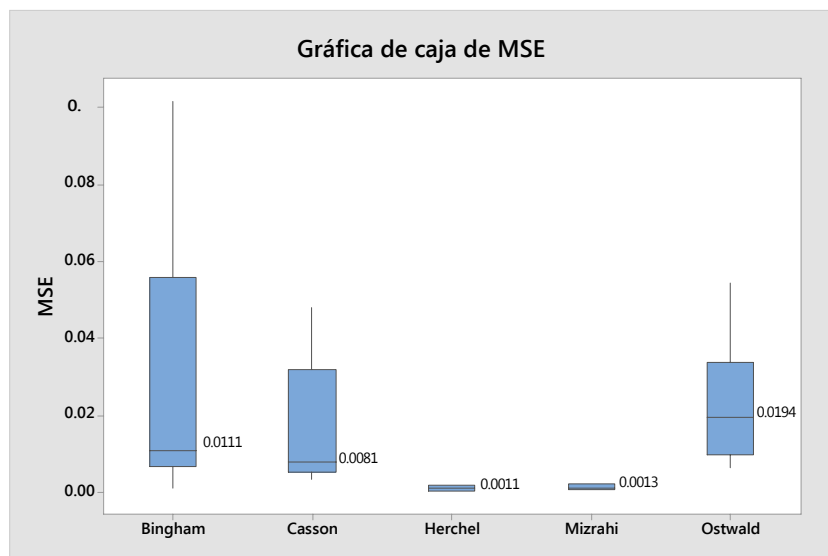
Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	4	27.73	0.000
Ajustado para empates	4	27.73	0.000

La Figura 15 y 16, representaciones de cajas se observa que los modelos Herschel y Mizrahi obtienen el mayor valor de  $R^2_{adj}$  (buen ajuste) y el mínimo error cuadrado medio (MSE); sin embargo, en la representación de la viscosidad de estos modelos se puede observar inestabilidad en los reogramas. En consecuencia, el modelo de Casson con un  $R^2_{adj} = 0,9997$  y  $MSE=0,0081$  representa el mejor ajuste y predicción para el comportamiento reológico del yogurt.



**Figura 15.** Figura de caja de  $R^2$  adj



**Figura 16.** Figura de caja de varianza

La Figura 17 y 18, de la prueba de normalidad para el índice de consistencia ( $k$ ) y el umbral de fluencia ( $t_0$ ), con valores  $p = 0.119$  y  $p = 0.799$  mayores que la significancia  $\alpha = 0,05$ , se infiere que los datos presentan distribución normal, por tanto, puede hacerse uso de la estadística paramétrica.

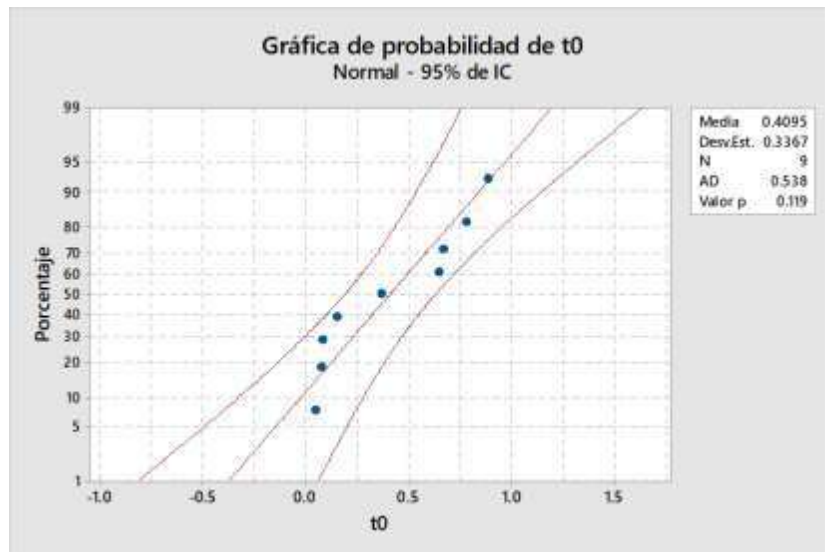


Figura 17. Figura de probabilidad de término independiente

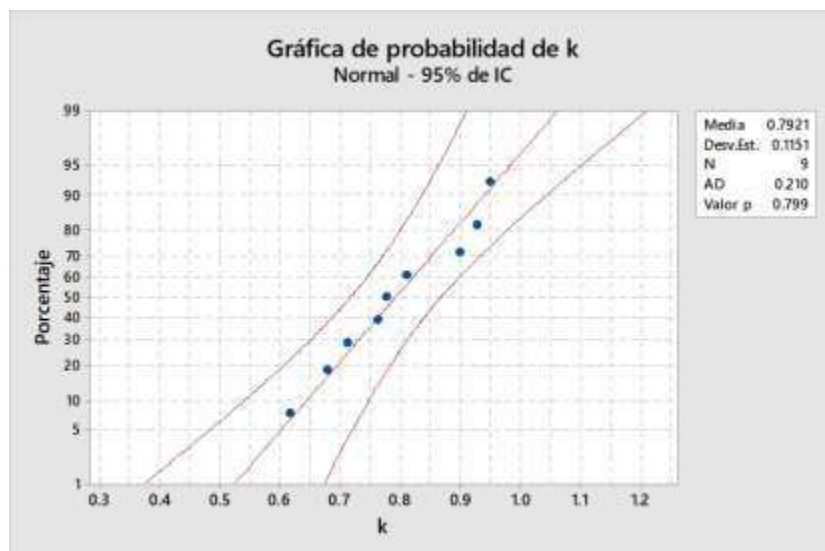


Figura 18. Figura de probabilidad de  $k$  normal – 95% de IC

En la Tabla 23, del análisis de varianza se infiere que no existen diferencias significativas en el índice de consistencia  $k$ ; sin embargo, para cada experimento realizado se obtiene diferentes situaciones que es conveniente analizar.

**Tabla 23.** ANOVA: k vs. Leche (%); Lúcumá (%)  
**Información del factor**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Leche (%)	Fijo	3	8; 10; 12
Lucuma (%)	Fijo	3	5; 10; 15

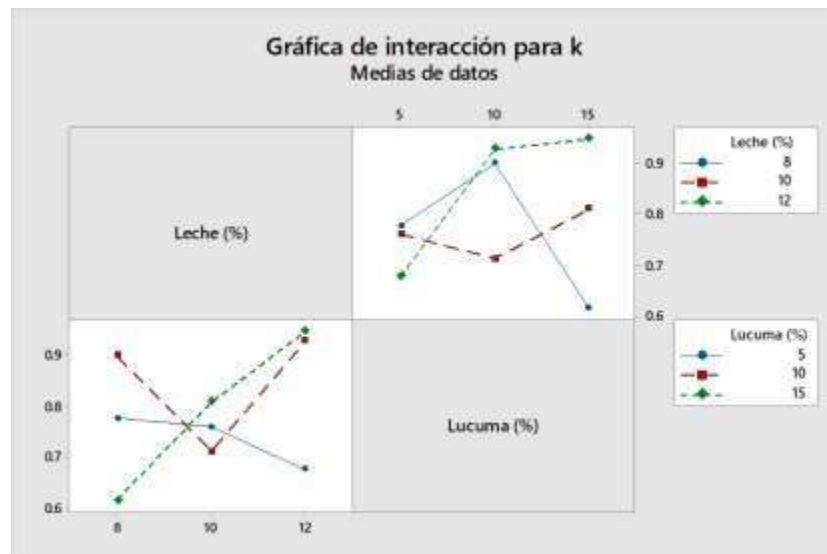
**Análisis de varianza de k**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Leche (%)	2	0.01579	0.007897	0.43	0.675
Lucuma (%)	2	0.01749	0.008744	0.48	0.650
Error	4	0.07271	0.018176		
Total	8	0.10599			

**Resumen del modelo**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0.134820	31.40%	0.00%

En la Figura 19, al trabajar con [leche 12 % y lúcumá 10 %] frente a [leche 12 % y lúcumá 15 %] no existe diferencias significativas en el índice de consistencia obtenido, puesto que presenta una leve variación.



**Figura 19.** Figura de interacción para k vs índice de consistencia

En la Figura 20, de interacciones y efectos principales se deduce que para obtener un yogurt con índice de consistencia alto se deberá trabajar con leche 12 % y lúcumá 10 % [k = 0.9278 Pa.s<sup>n</sup>]

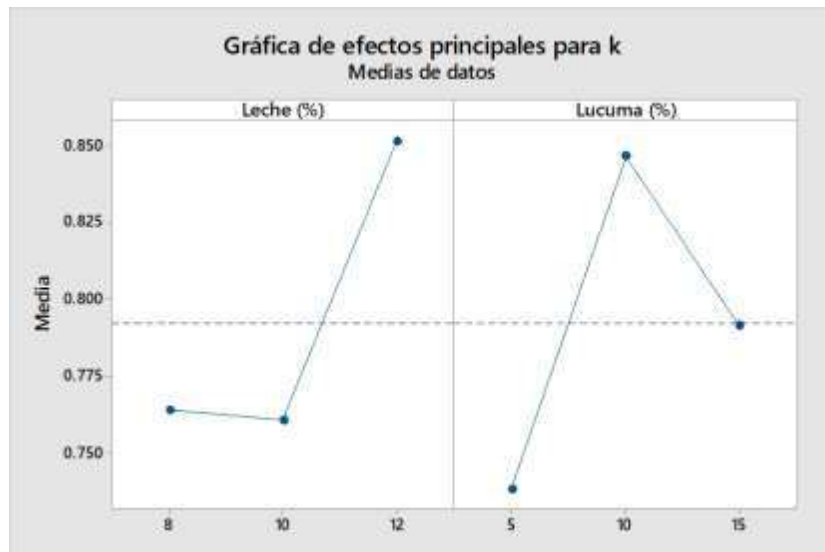


Figura 20. Figura de efectos principales para k vs Medias de datos

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. De la caracterización físico-químico del lactosuero, pulpa de lúcuma

En el estudio realizado del lactosuero se observa en la Tabla 12. Y son mencionados los componentes con sus respectivos valores a base de 100 gramos, agua 92,1 %, proteína 3,2 %, grasa 2,2 %, ceniza 0,89 %, densidad 1,0279 gramos por mililitro, sólidos solubles 6,25 °Brix, acidez titulable 0,15 % y pH 6,0.

De la tabla 13 y 14 se observa los componentes de pulpa de lúcuma reporta un contenido humedad 65,9 gramos, proteína 3,1 gramos, carbohidratos 27 gramos, grasa 0,1 gramos, fibra 1,4 gramos, ceniza 2,0 gramos acides titulable (%) 0,29, pH 5,7 y sólidos solubles 22 °Brix son los resultados obtenidos en la investigación realizada.

Según García (2016), en su estudio realizado característica fisicoquímica de pulpa de lúcuma tienen los siguientes datos humedad 55 – 75 %, proteína 2% y fibra soluble 1,5-4,0 los resultados son de acuerdo de índice de madurez y variedad de la lúcuma.

Según los autores mencionados y los estudios realizados en la investigación del yogurt a base de lactosuero dulce con leche en polvo y pulpa de lúcuma, los datos o valores del componente de pulpa de lúcuma están dentro del rango medio del estudio realizado de los autores.

Sánchez (2006), nos indica que los componentes realizado en el estudio a base de 100 gramos carbohidrato 25 gramos los azúcares presentes en la pulpa son glucosa, fructosa, sacarosa e inositol se incrementa el estado de maduración se incrementa la glucosa 8,4 gramos, fructosa 4,7, agua 56 - 72,3 gramos, proteínas 1,5 gramos, carbohidratos 25 gramos, fibra 1,3 gramos, cenizas 0,7 gramos calcio 15 microgramos, fósforo 26 microgramos etc.

Panesar (2007), en su trabajo de investigación realizado caracterización fisicoquímica de lactosuero dulce con los siguientes datos salidos 63,0 - 70 gramos por litro, proteína 6-10 gramos por litro, calcio 0,4-0,6 gramos por litro.

Según Spreer (1999), en su estudio realizado del lactosuero dulce los más importantes son agua 93,5%, materia grasa 0,5%, proteína 1%, sales 0,5%, sólidos solubles 6,15 %, pH 6,30 y color amarillo verdoso.

Según Riofrío (2014), se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 4 repeticiones; y se valoró la diferencia entre medias de tratamiento utilizando la prueba de Tukey. Los resultados indicaron que tanto la cantidad de proteína como de potasio en queso mozzarella (1,29 g/100g), (148,03 mg/L) y fresco (1,24 g/100g), (150,94 mg/L) respectivamente fueron estadísticamente iguales. En cuanto a la cantidad de calcio en queso mozzarella (53,36 mg/L) es diferente significativamente al resto de los sueros caracterizados y la lactosa en el queso fresco (4,3 g/100g) es el mayor componente del lactosuero, agua 95%, lactosa 6%, sólidos solubles 5,50 % y pH 6.

Observando los autores mencionados tienen similitud en los valores obtenidos en el estudio realizado del lactosuero tienen cercanía con los sus datos de los autores que realizaron la caracterización de lactosuero dulce.

## **5.2. Tratamientos en estudio y evaluación sensorial**

En Tabla 11 se observan los tratamientos realizados, con sus respectivos proporciones, en las Figuras 7 y Tabla 15 igualmente se observa con sus respectivos valores como son hasta llegar con los nueve tratamientos y valores en la investigación realizada las propiedades organolépticas evaluados son aroma, sabor, color y consistencia donde sobre saliendo fue el tratamiento tres con las proporciones de 8 % leche en polvo y 15 % pulpa de lúcuma teniendo el mayor puntaje por los panelistas y por la evaluación estadística

De Friedman con 0,5 % de error y 95 % de probabilidad, color (8,33), aroma (8,47), sabor (8,07) y consistencia (8,53).

Según Machaycuay (2014), la investigación estuvo enmarcado en el tipo de investigación aplicada, la identificación del proceso en el método científico, utilizando el método experimental. Para dicha elaboración se utilizó suero dulce, se identificó su composición fisicoquímica de acidez (0,248 %) y pH

(5,5); en el diseño estadístico se utilizó el diseño de bloques completamente aleatorio, se determinó la prueba de significación de Duncan ( $p \leq 0,05$ ) evaluando las características organolépticas con cuatro tratamientos de la formulación: Lactosuero (75 %, 85 %, 95 % y 100 %); yogurt natural (25 %, 15 %, 5 % y 0 %). A estas mezclas se le sometió a una evaluación sensorial con 15 panelistas semi-entrenados, con la finalidad de observar si existe variación en las características organolépticas de olor, sabor, y textura. El resultado nos demostró que el tratamiento tres (85 % lactosuero y 15 % yogurt natural); es el más aceptable por los panelistas y teniendo el mayor puntaje.

Según Garza (1998), en la propiedad organoléptica son muy interesantes para modificar el proceso de elaboración o la formulación de un producto final de forma que los parámetros de consistencia del alimento se encuentren dentro del rango considerado deseable por los consumidores.

Por lo tanto, la investigación realizada de las propiedades organolépticas de los diferentes tratamientos el ganador por los panelistas, análisis estadístico de Friedman es el tratamiento tres con las proporciones de 8 % de leche en polvo y 15 % pulpa de lúcuma, está dentro de rango por los antecedentes realizados.

### **5.3. De la evaluación de las propiedades reológicas del yogurt**

Según Aguilar (2016), el contenido de cultivo láctico no fue significativa, pero el contenido de pulpa influye en la reología del producto, con mayor consistencia cuando el contenido de pasta utilizada fue del 10 %.

En la investigación el contenido de pulpa influye para lograr la mejor consistencia, donde se demostró que la proporción 12 % - 10 % es la mejor consistencia.

Según Castro (2012), Se determinó que todas las muestras se comportaban como un fluido plástico general por lo que siguieron el modelo matemático de Hershel- Bulkley.

En la investigación el comportamiento reológico correspondió a un fluido No newtoniano de tipo plástico real, el modelo que mejor ajustó los datos obtenidos fue el de Casson.

## VI. CONCLUSIONES

Después de realizar la investigación se arriba a las siguientes conclusiones:

Los mejores atributos sensoriales del yogurt a base de lactosuero se lograron con la combinación de 8 % de leche en polvo y 15 % de pulpa de lúcuma, obteniendo el producto final una calificación sensorial muy buena.

El comportamiento reológico del yogurt para las concentraciones de 8 a 12 % y de leche de 5 a 15 % de lúcuma corresponde a un fluido no newtoniano de comportamiento reológico característico de los fluidos tipo plástico real, el cual queda representado por el modelo Casson. Representado por la ecuación  $\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k(\dot{\gamma})^{0,5}$ , con un índice de consistencia  $K = 0,9278 \text{ Pa s}^{0,5}$ ,  $t_0=0.7755 \text{ Pa}$  y con un  $R^2_{\text{adj}} = 0,997$ .

## VII. RECOMENDACIONES

- Extender el estudio reológico del yogurt con frutos de la zona para darle mayor valor agregado a sus subproductos.
- Extender el estudio orientado a los cambios en la estructura interna que afecten a las mediciones del esfuerzo y velocidad de corte.
- Formular alimentos a base del lacto suero, para así incentivar al consumo de este alimento.
- Realizar un estudio de mercado que determine la demanda y factibilidad, para justificar la producción de yogurt a base de lactosuero dulce en la región Huánuco

## VIII. LITERATURA CITADA

- Aaij, R., Adeva, B., Adinolfi, M., Adrover, C., Affolder, A., Ajaltouni, Z. & Alkhazov, G. (2013). Medición de observables independientes del factor de forma en la desintegración  $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$ . Cartas de revisión física, 111 (19), 191801.
- Alberto Monsalve G. Reología, la Ciencia que Estudia el Movimiento de Fluidos, Académico Departamento de ingeniería Metalúrgica, Facultad de ingeniería, Universidad de Santiago de Chile. Año N° 30, 18 de octubre de 2016.
- Alegre Caballero, M. G., Aguilar, T., & del Carmen, A. M. (2017). Caracterización de macrocomponentes en pulpa congelada de tres biotipos de Lúcumá (*Pouteria lucuma*).
- Alimentarius, C. (2009). Higiene de los Alimentos. Textos Básicos. 3ra edición. Roma: FAO/OMS.
- Barbosa Canovas, G.V. and M Peleg. 1983. "Flow parameters of selected comercial
- Carrasco Venegas, L. (2017). Determinación de parámetros de modelo y flujo de fluidos no newtonianos.
- Carrasco Venegas, Luis; Fenómenos de Transporte; Editorial Macro; Segunda Edición; Lima Perú; 2011.
- Chhabra R., Richardson J. (1999), "Non-Newtonian flow in the process Industries:
- Di Cesare, A., Di Meglio, P., & Nestle, F. O. (2009). The IL-23/Th17 axis in the immunopathogenesis of psoriasis. *Journal of Investigative Dermatology*, 129(6), 1339-1350.
- Enriquez Castillo, D., Sánchez Gonzáles, J., & Castro Santander, P. (2012). Efecto de la concentración de sólidos totales de la leche entera y tipo de cultivo comercial en las características reológicas del yogurt natural tipo batido. *Agroindustrial Science*, 2, 173-180.
- Esteban Luis Ibarrola. Introducción a los Fluidos No Newtonianos. Cátedra de Mecánica de los Fluidos- UNCor.
- "Fundamentals and Engineering Applications", Gran Bretaña. Laser Words. 436 p.

- Gonzales, S., Bada, M., Rojas, G., Bernaola, A., & Chávez, B. (2011). Guía de práctica clínica sobre el diagnóstico y tratamiento de la diarrea aguda infecciosa en pediatría Perú-2011. *Revista de gastroenterología del Perú*, 31(3), 258-277.
- Guimaraes, D. H. P., Lodelis, A., & Aguilar, L. F. S. (2016). Análisis de los Parámetros Reológicos y Sensoriales de Yogur de Guayaba Enriquecido con Cereales. *Reunión especializada de Ciencia y tecnología del Mercosur*, 18(25), 34-41.
- Gutiérrez Pulido, H. (2005). Calidad total y productividad (No.658.562 G984c). México, MX: McGraw-Hill.
- Huertas, R. A. P. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 62(1), 4967-4982.
- J.R. HERMIDA BUN (2000); Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios. 464 p.
- JOHNSON, B. F., LAW, G., NESTO, R., PFEIFER, M., SLATER, W., VINIK, A., ... & YOUNG, L. (1999). Aldose reductase inhibitor zopolrestat improves systolic function in diabetics. *Diabetes*, 48(5), SA133-SA133.
- JOHNSON, BF, LAW, G., NESTO, R., PFEIFER, M., SLATER, W., VINIK, A., ... & YOUNG, L. (1999). El inhibidor de la aldosa reductasa zopolrestat mejora la función sistólica en los diabéticos. *Diabetes*, 48(5), SA133-SA133.
- Machacuay Córdova, S. M. (2014). Determinación de las características microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales de una bebida fermentada probiótica a partir de lactosuero.
- Mena, P. (2002). Formulación y elaboración de dos bebidas refrescantes con base en suero dulce de queso fresco y sabores de frutas (Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2013).
- Mintzer, V. J., Martin, A. R., da Silva, V. M., Barbour, A. B., Lorenzen, K., & Frazer, T. K. (2013). Effect of illegal harvest on apparent survival of Amazon River dolphins (*Inia geoffrensis*). *Biological Conservation*, 158, 280-286.

- Muñi, A., Páez, G., Faría, J., Ferrer, J., & Ramones, E. (2005). Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero. *Revista Científica*, 15(4), 361-367.
- Panesar, PS, Kennedy, JF, Gandhi, DN y Bunko, K. (2007). Bioutilización de suero para la producción de ácido láctico. *Química de alimentos*, 105 (1), 1-14.
- Quispe, A., & Leydin, C. (2017). Efecto de la adición de pulpa de lucuma (*Pouteria obovata*) variedad seda sobre el color sensorial, color y firmeza instrumental y aceptabilidad general en muffins.
- Ramírez Navas, Juan; *Fundamentos de Reología de los Alimentos*; Edit. JSR e-books; Cali, Colombia; 2006
- RAO M.A. y otros *engineering propities of food eua.crc press*. Cuarta edicion.2014
- Rauendaal C. (1988), "Mixing in Polymer Processing", Munich, Hanser. 337 p.
- REGALADO MENDEZ, Alejandro y NORIEGA RAMOS, Octavio Antonio. Comportamiento reológico de un Fluido. *Ciencia y Mar* 2008, XII (36):35 – 42.
- Revilla, A. (2000). *Tecnología de la leche*. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Tegucigalpa (Honduras)
- Roca, E. P., & Cáceres, P. (2011). Determinación del mejor proceso de elaboración de dulce de leche a partir de la sustitución parcial o total de leche fresca por leche en polvo (Doctoral dissertation, Tesis Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador).
- Rojas, O; *Introducción a la Reología*; Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Mérida, Venezuela; 1999.
- Sánchez, H., & Reyes, C. (2006). *Metodología y diseños en la investigación científica*.

- SARAVACOS G.D. y otros transportes properties of foods. Eua Headquarters. Primera edición 20001
- semi-liquid food products". J. Texture Stud. 14: 213-234.
- SHARMA, MULVANEY, RIZVI, INGENIERIA DE ALIMENTOS, Operaciones Unitarias y prácticas de Laboratorio. 348 p.
- Uribe, M. M. L., Valencia, J. U. S., Monzón, A. H., & Suescún, J. E. P. (2008). Bebida fermentada de suero de queso fresco inoculada con Lactobacillus casei. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 61(1), 4409-4421.
- Vasiljevic, T. y Jelen, P. (2003). Secado y almacenamiento de extractos crudos de  $\beta$ -galactosidasa de Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus 11842. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 4 (3), 319-329.

## ANEXOS

### 1. Panel fotográfico

#### 1.1. Análisis fisicoquímico de pulpa de lúcuma



Figura 1. Recepción de materia prima    figura 2



Figura 3. Cortado



figura 4. Análisis de pulpa de lúcuma



Figura 5. Pulpa de lúcuma



figura 6

## 1.2. Evaluación sensorial



Figura 7. Evaluación sensorial de los 9 tratamientos

## 1.3. Análisis reológicos



Figura 8



Figura 9



Figura 10



Figura 11



Figura 12



Figura 13

## 2. Evaluación sensorial con el análisis de Friedman

### 2.1. Color Tabla 1. Recopilación de datos COLOR

tratamientos	panelistas														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	7	7	8	7	8	7	8	8	8	8	7	7	7	8	7
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	9	8	8	8	8	9	8	8	8	8	9	8	9	8	9
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	7	8	7	7	7	7	6	6	6	7	7	7	7	7	6
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	6	6	6	6	5	6	5	6	6	6	6	6	6	5	6
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4

### Valores transformados a rangos

tratamientos	panelistas														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	5,5	5,5	5,5	5,5	6,5	5,5	6,5	6	6	5	5	5	5	6,5	7,5
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	7,5	7	8,5	7,5	8,5	7,5	8,5	8,5	8,5	8,5	7,5	7,5	7,5	8,5	7,5
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	9	8,5	8,5	9	8,5	9	8,5	8,5	8,5	8,5	9	9	9	8,5	9
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	7,5	8,5	7	7,5	6,5	7,5	6,5	6	6	7	7,5	7,5	7,5	6,5	5,5
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	5,5	5,5	5,5	5,5	4	5,5	4	6	6	5	5	5	5	3,5	5,5
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	3,5	3,5	3,5	3,5	4	3,5	4	3,5	3,5	5	5	5	5	3,5	3,5
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	3,5	3,5	3,5	3,5	4	3,5	4	3,5	3,5	2,5	3	3	3	3,5	1,5
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	2	1,5	2	1,5	2	2	1,5	1,5	2	2,5	2	1,5	2	3,5	3,5
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	1	1,5	1	1,5	1	1	1,5	1,5	1	1	1	1,5	1	1	1,5

Prueba de Friedman		Pruebas no paramétricas			
Rangos					
	Rango promedio				
T1	5,77	<b>Resumen de contrastes de hipótesis</b>			
T2	7,93				
T3	8,73				
T4	6,97				
T5	5,10				
T6	3,97				
T7	3,27				
T8	2,07				
T9	1,20				
<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>					
N	15				
Chi-cuadrado	113,350				
gl	8				
Sig. asintótica	,000				
a. Prueba de Friedman					
		HSD Tukey <sup>a</sup>			

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
Las distribuciones de T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 and T9 son las mismas.	Análisis bidimensional de Friedman de varianza por rangos para muestras relacionadas	,000	Rechace la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas.		El nivel de significancia es ,05.	

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamiento	N	Subconjunto para alfa=0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
T9	15	1,20						
T8	15		2,07					
T7	15			3,27				
T6	15			3,97				
T5	15				5,10			
T1	15				5,77			
T4	15					6,97		
T2	15						7,93	
T3	15							8,73
Sig.		1,00	1,00	0,06	0,08	1,00	1,00	1,00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

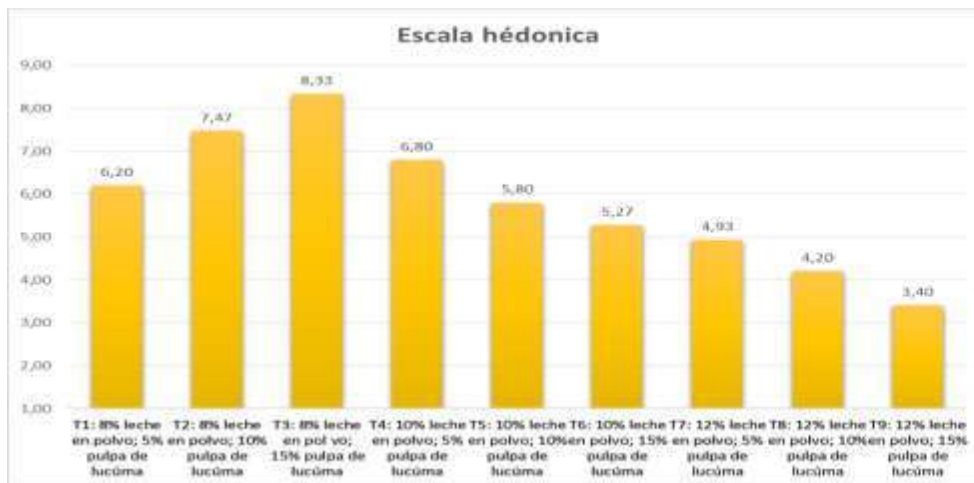
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamiento	N	Subconjunto para alfa=0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
T9	15	3,40						
T8	15		4,20					
T7	15			4,93				
T6	15			5,27				
T5	15				5,80			
T1	15				6,20			
T4	15					6,80		
T2	15						7,47	
T3	15							8,33
Sig.		1,00	1,00	0,54	0,29	1,00	1,00	1,00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

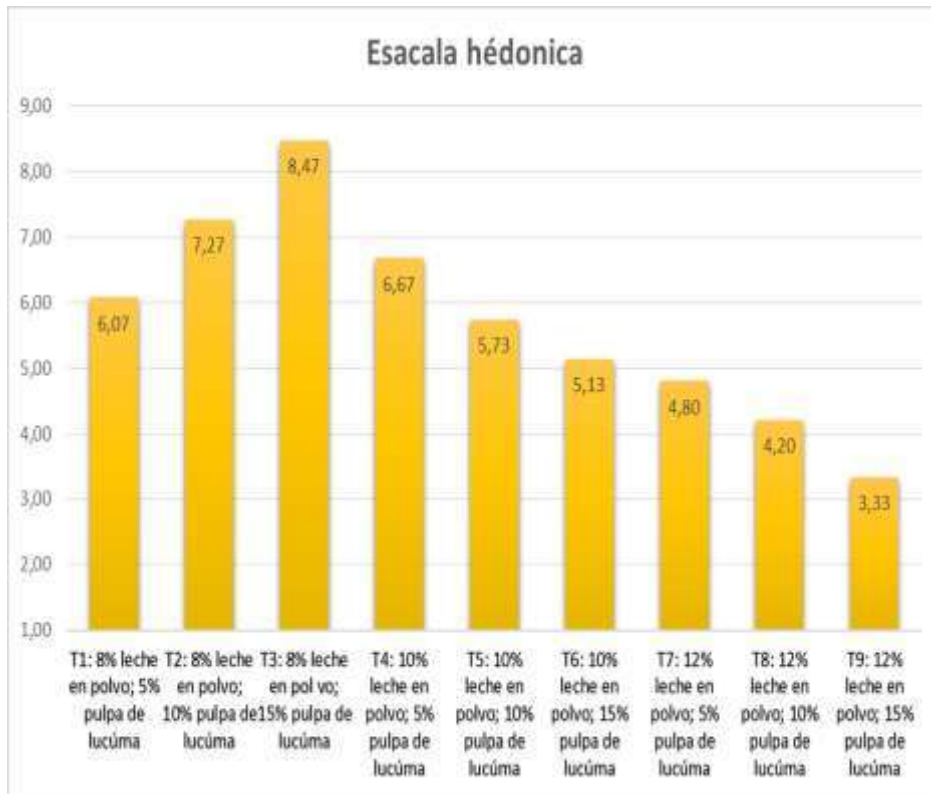


## 2.2. Tabla 2. evaluación de aroma

tratamientos	panelistas														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	7	7	7	7	7	8	8	7	8	7	7	7	7	8	7
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	9	8	8	9	8	9	8	9	8	8	9	8	9	8	9
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	7	8	7	6	7	7	6	6	6	7	7	7	6	7	6
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	6	5	6	6	5	6	5	6	6	6	6	6	6	5	6
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4

### Valores transformados a rangos

tratamientos	panelistas														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	5,5	6	5,5	6	6	5,5	6,5	6	6	5,5	5	5,5	5,5	6,5	6
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	7,5	7	7,5	8	7,5	8	8,5	8	8,5	7,5	7,5	7,5	8	8,5	8
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	9	8,5	9	9	9	9	8,5	9	8,5	9	9	9	9	8,5	9
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	7,5	8,5	7,5	6	7,5	7	6,5	6	6	7,5	7,5	7,5	5,5	6,5	6
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	5,5	4	5,5	6	4	5,5	4	6	6	5,5	5	5,5	5,5	3,5	6
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	3,5	4	4	3,5	4	3,5	4	4	3,5	3	5	3,5	5,5	3,5	3,5
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	3,5	4	2,5	3,5	4	3,5	4	2	3,5	3	3	3,5	3	3,5	1,5
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	2	1,5	2,5	1,5	2	2	1,5	2	2	3	2	2	2	3,5	3,5
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	1	1,5	1	1,5	1	1	1,5	2	1	1	1	1	1	1	1,5



Prueba de Friedman		Pruebas no paramétricas			
Rangos					
	Rango promedio				
T1	5,80				
T2	7,83				
T3	8,87				
T4	6,87				
T5	5,17				
T6	3,87				
T7	3,20				
T8	2,20				
T9	1,20				

Resumen de contrastes de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las distribuciones de T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 and T9 son las mismas.	Análisis bidimensional de Friedman de varianza por rangos para muestras relacionadas	,000	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
T9	15	1,20						
T8	15		2,20					
T7	15			3,20				
T6	15			3,87				
T5	15				5,17			
T1	15				5,80			
T4	15					6,87		
T2	15						7,83	
T3	15							8,87
Sig.		1,00	1,00	0,08	0,11	1,00	1,00	1,00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = 0.05.

aroma								
HSD Tukey <sup>a</sup>								
tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
T9	15	3,33						
T8	15		4,20					
T7	15			4,80				
T6	15			5,13				
T5	15				5,73			
T1	15				6,07			
T4	15					6,67		
T2	15						7,27	
T3	15							8,47
Sig.		1,00	1,00	0,53	0,53	1,00	1,00	1,00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

### 2.3. Tabla 3. Evaluación de sabor

tratamientos	panelistas														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	7	7	7	8	7
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	6	6	6	6	7	7	6	6	6	6	7	6	7	6	6
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	6	6	6	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	4	5	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4	4	5	5
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	4	3	3	4

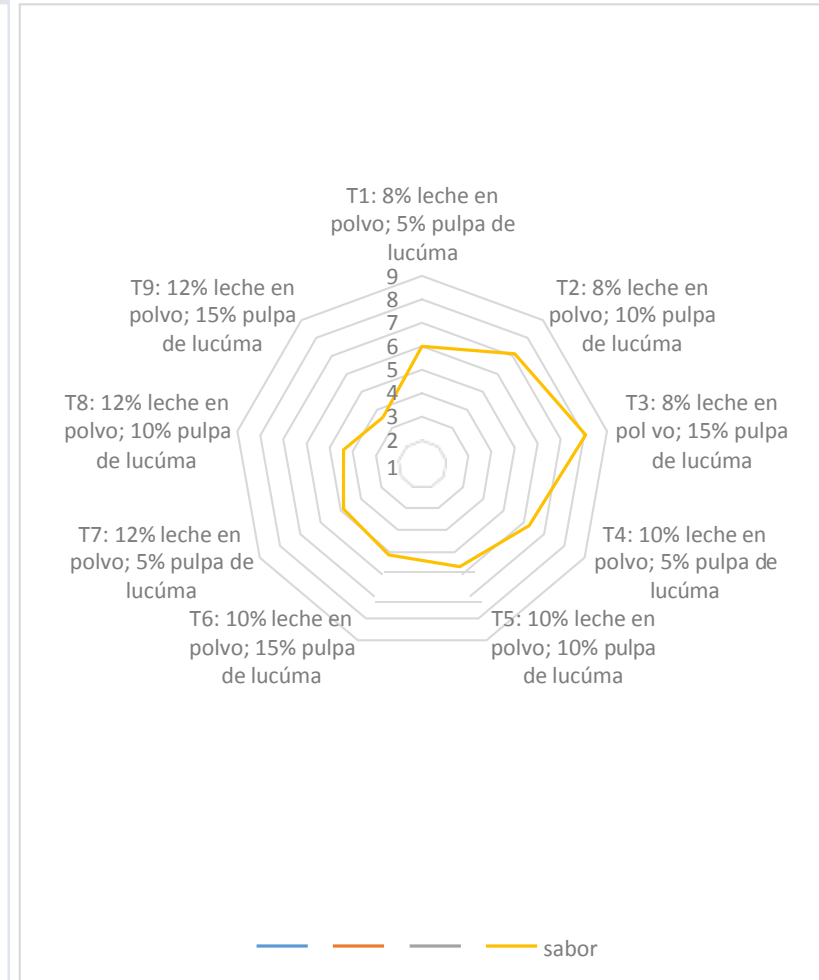
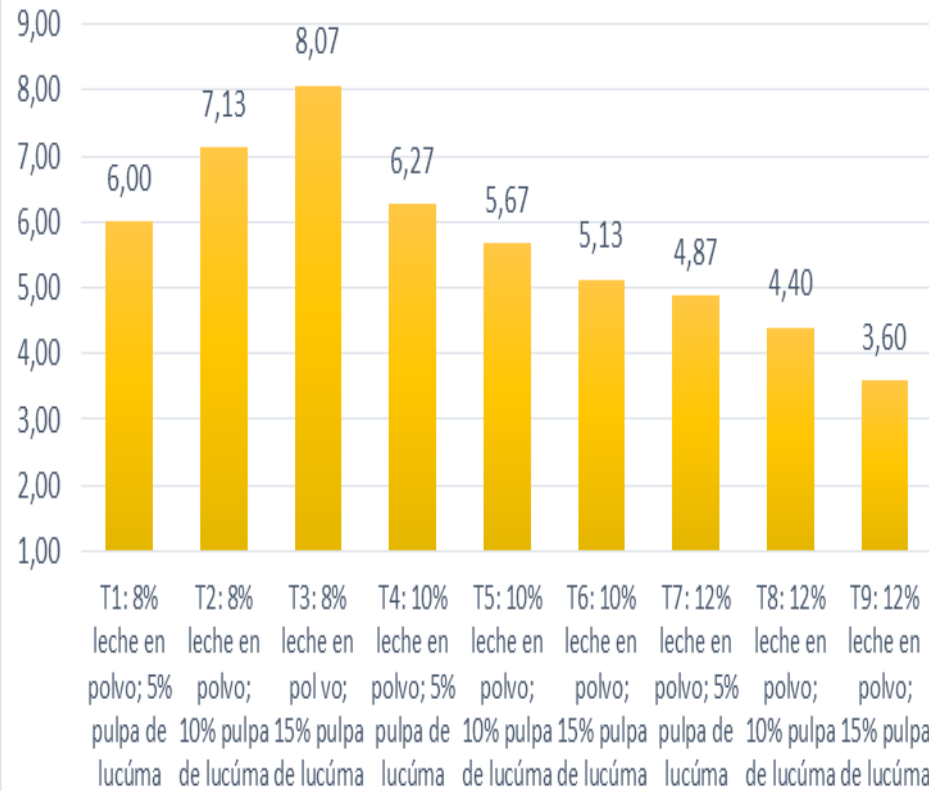
### Valores transformados a rangos

tratamientos	panelistas														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	6	6	6	6	6	5,5	6,5	6	6	5,5	5	6	6	6,5	6,5
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	8	8	8	8	7,5	7,5	8	8	8	8,5	7,5	8	7,5	8,5	8
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8,5	9	9	9	8,5	9
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	6	6	6	6	7,5	7,5	6,5	6	6	5,5	7,5	6	7,5	6,5	6,5
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	6	6	6	6	4	5,5	4	6	6	5,5	5	6	4	3,5	4
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	3,5	3,5	3,5	3	4	3	4	3,5	3,5	5,5	5	3,5	4	3,5	4
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcumá	3,5	1,5	3,5	3	4	3	4	3,5	3,5	2,5	3	3,5	4	3,5	1,5
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcumá	1,5	3,5	2	3	1,5	3	1,5	1,5	1,5	2,5	2	1,5	2	3,5	4
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcumá	1,5	1,5	1	1	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1	1	1,5	1	1	1,5

Prueba de Friedman	
Rangos	
	Rango prom edio
T1	5,97
T2	7,93
T3	8,93
T4	6,47
T5	5,17
T6	3,80
T7	3,17
T8	2,30
T9	1,27

Pruebas no paramétricas			
Resumen de contrastes de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 Las distribuciones de T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 and T9 son las mismas.	Análisis bidimensional de Friedman de varianza por rangos para muestras relacionadas	,000	Rechaza la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es ,05.			

## sabor



sabor

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

tratamiento	N	Subconjunto						
		1	2	3	4	5	6	7
T9	15	1,27						
T8	15		2,30					
T7	15			3,17				
T6	15			3,80				
T5	15				5,17			
T1	15					5,97		
T4	15					6,47		
T2	15						7,93	
T3	15							8,93
Sig.		1,00	1,00	0,15	1,00	0,45	1,00	1,00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = 0.05.

sabor

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

tratamiento	N	Subconjunto						
		1	2	3	4	5	6	7
T9	15	3,60						
T8	15		4,40					
T7	15			4,87				
T6	15			5,13				
T5	15				5,67			
T1	15				6,00	6,00		
T4	15					6,27		
T2	15						7,13	
T3	15							8,07
Sig.		1,00	1,00	0,65	0,34	0,65	1,00	1,00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

b. Alfa = 0.05.

## 2.4. Tabla 4. Evaluación de consistencia

tratamientos	panelistas														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	6	6	7	6	7	6	7	7	7	7	6	6	6	7	7
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	7	8	8	8
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	9	8	8	9	9	9	9	8	8	8	9	8	9	8	9
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	5	6
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	5	5	4	4	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	4
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	3	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	4	3	3	4

### Valores transformados a rangos

tratamientos	panelistas														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	5,5	5,5	7	5,5	7	6	7	7	7	6,5	5	5	5,5	6,5	6,5
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	7,5	7,5	7	7,5	7	8	8	8,5	8,5	8,5	8	7,5	8	8,5	8
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	9	9	9	9	9	9	9	8,5	8,5	8,5	9	9	9	8,5	9
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	7,5	7,5	7	7,5	7	6	6	5,5	5,5	6,5	7	7,5	7	6,5	6,5
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	5,5	5,5	5	5,5	5	6	4,5	5,5	5,5	4,5	5	5	5,5	3,5	5
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	3,5	3,5	4	4	3,5	3,5	4,5	3,5	4	4,5	5	5	3,5	3,5	3,5
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	3,5	3,5	2,5	2,5	3,5	3,5	2	3,5	2	3	2,5	3	3,5	3,5	1,5
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	2	1,5	2,5	1	2	2	2	1,5	2	2	2,5	1,5	2	3,5	3,5
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	1	1,5	1	2,5	1	1	2	1,5	2	1	1	1,5	1	1	1,5

### Prueba de Friedman

Rangos	
	Rango promedio
T1	6,17
T2	7,87
T3	8,87
T4	6,70
T5	5,10
T6	3,93
T7	2,90
T8	2,10
T9	1,37

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
N	15
Chi-cuadrado	113,661
gl	8
Sig. asintótica	,000

a. Prueba de Friedman

### Pruebas no paramétricas

#### Resumen de contrastes de hipótesis

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 Las distribuciones de T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 and T9 son las mismas.	Análisis bidimensional de Friedman de varianza por rangos para muestras relacionadas	,000	Rechaza la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

consistencia

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
T9	15	3,47						
T8	15		4,07					
T7	15		4,60					
T6	15			5,20				
T5	15				5,87			
T1	15					6,53		
T4	15					6,73		
T2	15						7,53	
T3	15							8,53
Sig.		1,00	0,06	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

consistencia

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T9	15	1,37							
T8	15		2,10						
T7	15			2,90					
T6	15				3,93				
T5	15					5,10			
T1	15						6,17		
T4	15						6,70		
T2	15							7,87	
T3	15								8,87
Sig.		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,28	1,00	1,00

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

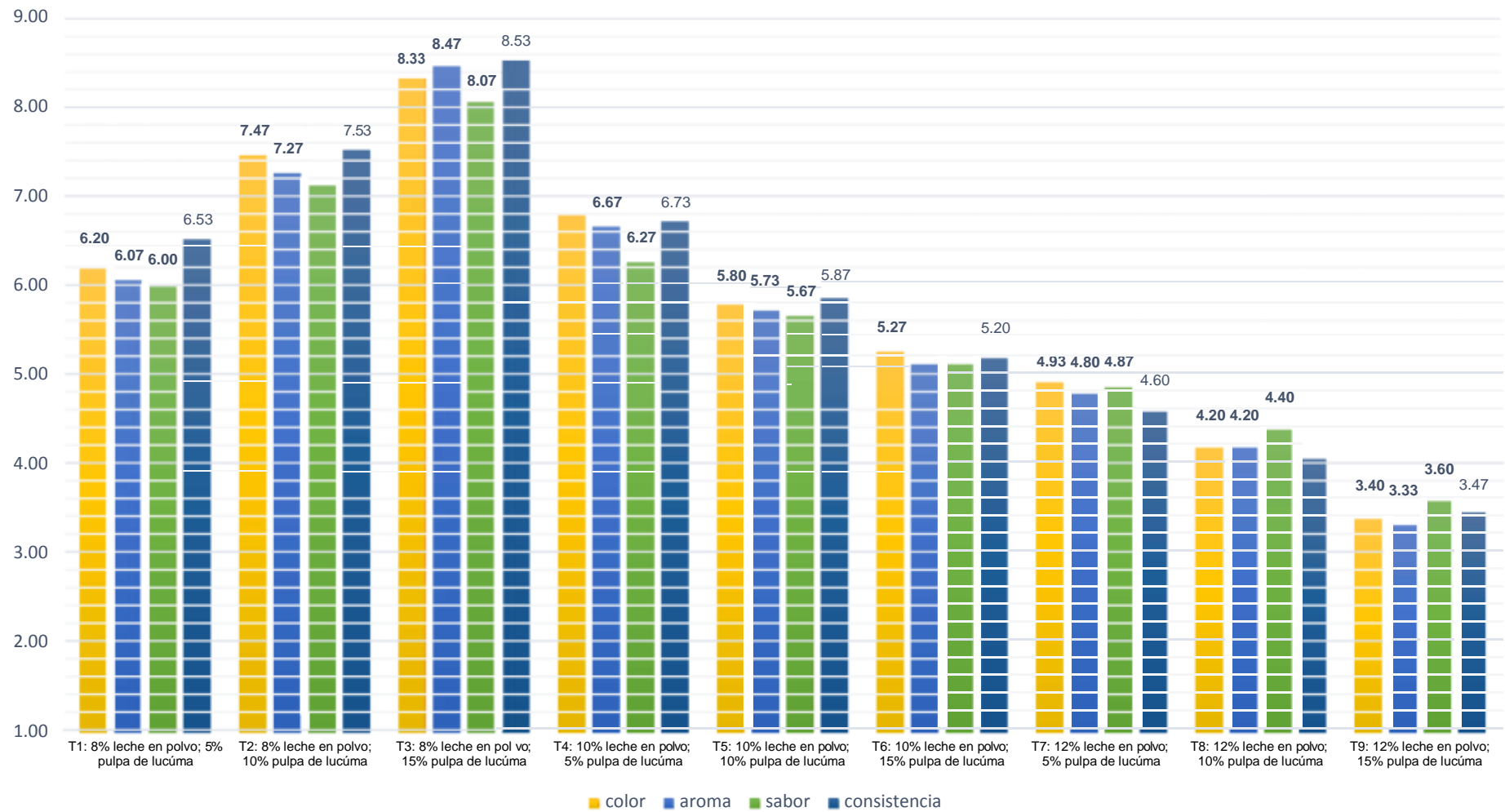
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

**Tabla 5. Evaluación de los nueve tratamientos**

tratamientos	color	aroma	sabor	consistencia
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	6,20	6,07	6,00	6,53
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	7,47	7,27	7,13	7,53
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	8,33	8,47	8,07	8,53
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	6,80	6,67	6,27	6,73
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	5,80	5,73	5,67	5,87
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	5,27	5,13	5,13	5,20
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	4,93	4,80	4,87	4,60
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	4,20	4,20	4,40	4,07
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	3,40	3,33	3,60	3,47

tratamientos	color	aroma	sabor	consistencia
T1: 8% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	5,77	5,80	5,97	6,17
T2: 8% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	7,93	7,83	7,93	7,87
T3: 8% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	8,73	8,87	8,93	8,87
T4: 10% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	6,97	6,87	6,47	6,70
T5: 10% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	5,10	5,17	5,17	5,10
T6: 10% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	3,97	3,87	3,80	3,93
T7: 12% leche en polvo; 5% pulpa de lúcuma	3,27	3,20	3,17	2,90
T8: 12% leche en polvo; 10% pulpa de lúcuma	2,01	2,20	2,30	2,10
T9: 12% leche en polvo; 15% pulpa de lúcuma	1,20	1,20	1,27	1,37

## Escala hédonica



### 3. Resultados de las mediciones en el viscosímetro por triplicado de los 9 tratamientos

Datos del tratamiento T1: 8% leche en polvo y 5% pulpa de lúcumá

R 1			R 2			R 3		
<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>
960.00	10.00	9.60	650.00	10.00	6.53	650.00	10.00	6.53
913.33	15.00	13.73	606.67	15.00	9.07	606.67	15.00	9.07
885.00	20.00	17.69	575.00	20.00	11.51	575.00	20.00	11.51
860.00	25.00	21.52	556.00	25.00	13.91	556.00	25.00	13.91
846.67	30.00	25.44	546.67	30.00	16.35	546.67	30.00	16.35
840.00	35.00	29.41	537.14	35.00	18.81	537.14	35.00	18.81
832.50	40.00	33.32	532.50	40.00	21.31	532.50	40.00	21.31
831.11	45.00	37.43	531.11	45.00	23.86	531.11	45.00	23.86
828.00	50.00	41.36	526.00	50.00	26.32	526.00	50.00	26.32
825.45	55.00	45.43	525.45	55.00	28.91	525.45	55.00	28.91
820.00	60.00	49.18	525.00	60.00	31.54	525.00	60.00	31.54
821.54	65.00	53.43	524.62	65.00	34.14	524.62	65.00	34.14
822.86	70.00	57.62	524.29	70.00	36.69	524.29	70.00	36.69
828.00	75.00	62.06	524.00	75.00	39.33	524.00	75.00	39.33
827.50	80.00	66.22	525.00	80.00	41.96	525.00	80.00	41.96
829.41	85.00	70.55	524.71	85.00	44.59	524.71	85.00	44.59
833.33	90.00	74.95	524.44	90.00	47.23	524.44	90.00	47.23
837.89	95.00	79.58	526.32	95.00	50.01	526.32	95.00	50.01
843.00	100.00	84.31	528.00	100.00	52.84	528.00	100.00	52.84

Datos del tratamiento T2: 8% leche en polvo y 10% pulpa de lúcumá

R 1			R 2			R 3		
<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>
1010.00	10.00	10.09	1360.00	10.00	13.61	660.00	10.00	6.56
953.33	15.00	14.35	1273.33	15.00	19.06	613.33	15.00	9.23
920.00	20.00	18.42	1225.00	20.00	24.46	590.00	20.00	11.81
904.00	25.00	22.57	1168.00	25.00	29.17	580.00	25.00	14.49
886.67	30.00	26.61	1126.67	30.00	33.79	576.67	30.00	17.31
868.57	35.00	30.38	1091.43	35.00	38.17	577.14	35.00	20.17
865.00	40.00	34.57	1065.00	40.00	42.63	577.50	40.00	23.14
857.78	45.00	38.57	1051.11	45.00	47.33	580.00	45.00	26.13
854.00	50.00	42.70	1036.00	50.00	51.81	582.00	50.00	29.10
849.09	55.00	46.70	1030.91	55.00	56.67	581.82	55.00	31.99
853.33	60.00	51.22	1031.67	60.00	61.91	581.67	60.00	34.91
861.54	65.00	55.97	1036.92	65.00	67.38	586.15	65.00	38.13
860.00	70.00	60.21	1040.00	70.00	72.75	590.00	70.00	41.34

864.00	75.00	64.83	1050.67	75.00	78.76	596.00	75.00	44.72
865.00	80.00	69.18	1046.25	80.00	83.65	600.00	80.00	47.96
864.71	85.00	73.45	1041.18	85.00	88.52	604.71	85.00	51.44
864.44	90.00	77.79	1040.00	90.00	93.60	608.89	90.00	54.82
868.42	95.00	82.51	1038.95	95.00	96.72	612.63	95.00	58.21
867.4	100.00	87.23	1037.2	100	98.84	616.37	100	61.6

### Datos del tratamiento T3: 8% leche en polvo y 15% pulpa de lúcumá

R 1			R 2			R 3		
<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>
440.00	10.00	4.38	410.00	10.00	4.11	450.00	10.00	4.50
413.33	15.00	6.15	373.33	15.00	5.64	420.00	15.00	6.25
395.00	20.00	7.91	360.00	20.00	7.21	400.00	20.00	7.99
384.00	25.00	9.62	352.00	25.00	8.83	388.00	25.00	9.74
380.00	30.00	11.45	346.67	30.00	10.40	386.67	30.00	11.60
380.00	35.00	13.31	345.71	35.00	12.10	382.86	35.00	13.44
380.00	40.00	15.17	347.50	40.00	13.90	385.00	40.00	15.39
380.00	45.00	17.14	348.89	45.00	15.67	386.67	45.00	17.37
382.00	50.00	19.13	350.00	50.00	17.47	386.00	50.00	19.29
383.64	55.00	21.12	350.91	55.00	19.25	387.27	55.00	21.30
386.67	60.00	23.17	353.33	60.00	21.21	388.33	60.00	23.33
389.23	65.00	25.25	353.85	65.00	22.98	389.23	65.00	25.28
392.86	70.00	27.46	357.14	70.00	25.03	391.43	70.00	27.38
392.00	75.00	29.38	357.33	75.00	26.82	392.00	75.00	29.44
393.75	80.00	31.46	360.00	80.00	28.79	393.75	80.00	31.50
395.29	85.00	33.62	360.00	85.00	30.65	396.47	85.00	33.71
396.67	90.00	35.69	361.11	90.00	32.50	400.00	90.00	36.01
397.89	95.00	37.81	361.05	95.00	34.32	403.16	95.00	38.27
396.00	100.00	39.63	362.00	100.00	36.24	405.00	100.00	40.47

### Datos del tratamiento T4: 10% leche en polvo y 5% pulpa de lúcumá

R 1			R 2			R 3		
<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>
580.00	10.00	5.83	1100.00	10.00	10.98	1540.00	10.00	15.41
500.00	15.00	7.45	986.67	15.00	14.76	1433.33	15.00	21.51
455.00	20.00	9.06	895.00	20.00	17.90	1345.00	20.00	26.89
424.00	25.00	10.64	844.00	25.00	21.14	1288.00	25.00	32.19
406.67	30.00	12.23	836.67	30.00	25.10	1243.33	30.00	37.28
394.29	35.00	13.83	825.71	35.00	28.88	1211.43	35.00	42.43
387.50	40.00	15.49	815.00	40.00	32.60	1187.50	40.00	47.55

380.00	45.00	17.15	808.89	45.00	36.36	1164.44	45.00	52.38
376.00	50.00	18.81	810.00	50.00	40.46	1150.00	50.00	57.49
372.73	55.00	20.54	809.09	55.00	44.53	1140.00	55.00	62.73
371.67	60.00	22.30	810.00	60.00	48.61	1121.67	60.00	67.35
369.23	65.00	24.04	809.23	65.00	52.57	1113.85	65.00	72.39
368.57	70.00	25.78	805.71	70.00	56.39	1091.43	70.00	76.43
368.00	75.00	27.56	806.67	75.00	60.53	1089.33	75.00	81.68
367.50	80.00	29.35	810.00	80.00	64.76	1073.75	80.00	85.88
367.06	85.00	31.17	804.71	85.00	68.39	1069.41	85.00	90.90
366.67	90.00	33.03	801.11	90.00	72.08	1061.11	90.00	95.54
366.28	95.00	34.89	799.31	95.00	75.77	1052.80	95.00	97.67
365.89	100.00	36.75	797.50	100	79.46	1046.51	100	98.48

#### Datos del tratamiento T5: 10% leche en polvo y 10% pulpa de lúcumo

R 1			R 2			R 3		
Viscosidad	Veloc.	% Par	Viscosidad	Veloc.	% Par	Viscosidad	Veloc.	% Par
1520.00	10.00	15.18	1800.00	10.00	18.04	830.00	10.00	8.31
1320.00	15.00	19.76	1566.67	15.00	23.46	686.67	15.00	10.34
1215.00	20.00	24.27	1415.00	20.00	28.27	615.00	20.00	12.29
1152.00	25.00	28.79	1320.00	25.00	32.97	572.00	25.00	14.30
1110.00	30.00	33.34	1270.00	30.00	38.08	540.00	30.00	16.21
1071.43	35.00	37.54	1220.00	35.00	42.72	520.00	35.00	18.21
1045.00	40.00	41.84	1187.50	40.00	47.55	505.00	40.00	20.20
1024.44	45.00	46.14	1157.78	45.00	52.14	491.11	45.00	22.08
1006.00	50.00	50.31	1138.00	50.00	56.90	480.00	50.00	24.03
994.55	55.00	54.66	1121.82	55.00	61.69	472.73	55.00	26.01
978.33	60.00	58.68	1105.00	60.00	66.32	466.67	60.00	27.97
970.77	65.00	63.08	1096.92	65.00	71.27	460.00	65.00	29.89
958.57	70.00	67.09	1078.57	70.00	75.46	455.71	70.00	31.90
944.00	75.00	70.84	1065.33	75.00	79.90	450.67	75.00	33.83
936.25	80.00	74.91	1056.25	80.00	84.49	448.75	80.00	35.86
927.06	85.00	78.77	1050.59	85.00	89.27	445.88	85.00	37.85
918.89	90.00	82.71	1036.67	90.00	93.31	442.22	90.00	39.79
913.68	95.00	86.79	1028.42	95.00	97.72	437.89	95.00	41.65
911.43	100.00	89.76	1022.65	100	98.87	435.15	100	43.81

#### Datos del tratamiento T6: 10% leche en polvo y 15% pulpa de lúcumo

R 1			R 2			R 3		
Viscosidad	Veloc.	% Par	Viscosidad	Veloc.	% Par	Viscosidad	Veloc.	% Par
800.00	10.00	7.96	520.00	10.00	5.20	1020.00	10.00	10.17
740.00	15.00	11.10	466.67	15.00	6.97	946.67	15.00	14.22
715.00	20.00	14.32	435.00	20.00	8.73	915.00	20.00	18.25

708.00	25.00	17.69	420.00	25.00	10.54	896.00	25.00	22.43
706.67	30.00	21.17	413.33	30.00	12.40	886.67	30.00	26.63
702.86	35.00	24.60	408.57	35.00	14.28	877.14	35.00	30.67
700.00	40.00	28.04	402.50	40.00	16.14	872.50	40.00	34.89
700.00	45.00	31.49	400.00	45.00	18.03	868.89	45.00	39.10
698.00	50.00	34.86	400.00	50.00	19.99	866.00	50.00	43.32
696.36	55.00	38.29	398.18	55.00	21.90	860.00	55.00	47.34
700.00	60.00	42.00	398.33	60.00	23.87	861.67	60.00	51.69
700.00	65.00	45.54	398.46	65.00	25.90	863.08	65.00	56.14
698.57	70.00	48.91	397.14	70.00	27.84	855.71	70.00	59.94
700.00	75.00	52.55	396.00	75.00	29.73	862.67	75.00	64.72
702.50	80.00	56.21	397.50	80.00	31.82	858.75	80.00	68.71
703.53	85.00	59.84	398.82	85.00	33.85	860.00	85.00	73.10
704.44	90.00	63.44	396.67	90.00	35.73	866.67	90.00	77.96
708.42	95.00	67.31	396.84	95.00	37.70	862.11	95.00	81.92
709.00	100.00	70.89	396.00	100.00	39.60	865.00	100.00	86.54

Datos del tratamiento T7: 12% leche en polvo y 5% pulpa de lúcumo

R 1			R 2			R 3		
Viscosidad	Veloc.	% Par	Viscosidad	Veloc.	% Par	Viscosidad	Veloc.	% Par
1300.00	10.00	13.02	790.00	10.00	7.88	1920.00	10.00	19.24
1126.67	15.00	16.88	620.00	15.00	9.35	1706.67	15.00	25.64
1030.00	20.00	20.61	530.00	20.00	10.60	1560.00	20.00	31.24
972.00	25.00	24.29	476.00	25.00	11.87	1480.00	25.00	37.00
933.33	30.00	27.99	440.00	30.00	13.21	1420.00	30.00	42.60
905.71	35.00	31.66	414.29	35.00	14.47	1368.57	35.00	47.92
882.50	40.00	35.28	392.50	40.00	15.73	1340.00	40.00	53.62
866.67	45.00	39.00	375.56	45.00	16.94	1311.11	45.00	58.96
852.00	50.00	42.64	364.00	50.00	18.18	1288.00	50.00	64.42
841.82	55.00	46.32	352.73	55.00	19.43	1265.45	55.00	69.64
831.67	60.00	49.90	345.00	60.00	20.69	1250.00	60.00	74.99
824.62	65.00	53.63	336.92	65.00	21.91	1238.46	65.00	80.45
817.14	70.00	57.23	331.43	70.00	23.19	1218.57	70.00	85.30
810.67	75.00	60.78	325.33	75.00	24.39	1208.00	75.00	90.60
801.25	80.00	64.14	320.00	80.00	25.65	1193.75	80.00	95.48
796.43	85.00	68.91	317.21	85.00	26.78	1189.46	85.00	96.50
791.12	90.00	72.31	313.45	90.00	27.89	1185.78	90.00	97.10
789.32	95.00	76.43	310.01	95.00	28.59	1183.42	95.00	97.92
785.30	100.00	80.02	308.21	100	29.43	1180.29	100	98.45

Datos del tratamiento T8: 12% leche en polvo y 10% pulpa de lúcumo

R 1			R 2			R 3		
<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>
1930.00	10.00	19.32	2150.00	10.00	21.48	2120.00	10.00	21.21
1740.00	15.00	26.05	1953.33	15.00	29.27	1900.00	15.00	28.46
1630.00	20.00	32.58	1825.00	20.00	36.46	1745.00	20.00	34.88
1564.00	25.00	39.12	1724.00	25.00	43.06	1648.00	25.00	41.19
1513.33	30.00	45.41	1643.33	30.00	49.30	1573.33	30.00	47.17
1480.00	35.00	51.83	1600.00	35.00	55.99	1525.71	35.00	53.41
1437.50	40.00	57.48	1565.00	40.00	62.62	1480.00	40.00	59.22
1415.56	45.00	63.67	1535.56	45.00	69.11	1448.89	45.00	65.24
1390.00	50.00	69.51	1508.00	50.00	75.39	1412.00	50.00	70.56
1380.00	55.00	75.86	1474.55	55.00	81.09	1381.82	55.00	76.00
1353.33	60.00	81.23	1450.00	60.00	86.95	1361.67	60.00	81.66
1344.62	65.00	87.36	1427.69	65.00	92.84	1338.46	65.00	86.95
1321.43	70.00	92.48	1402.86	70.00	98.18	1314.29	70.00	92.02
1311.10	75.00	94.32	1398.98	75.00	98.34	1306.79	75.00	95.62
1306.92	80.00	95.89	1395.32	80.00	98.67	1300.23	80.00	96.75
1300.89	85.00	96.43	1391.23	85.00	98.89	1298.34	85.00	97.43
1297.98	90.00	97.34	1388.20	90.00	99.03	1296.33	90.00	98.21
1294.22	95.00	97.89	1385.69	95.00	99.45	1293.99	95.00	98.75
1291.38	100.00	98.43	1383.20	100	99.69	1291.56	100	99.42

Datos del tratamiento T9: 12% leche en polvo y 15% pulpa de lúcumo

R 1			R 2			R 3		
<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>Veloc.</u>	<u>% Par</u>
1930.00	10.00	19.26	2170.00	10.00	21.70	3050.00	10.00	30.46
1726.67	15.00	25.88	1953.33	15.00	29.28	2700.00	15.00	40.53
1600.00	20.00	32.03	1800.00	20.00	35.95	2470.00	20.00	49.35
1528.00	25.00	38.24	1716.00	25.00	42.90	2336.00	25.00	58.39
1486.67	30.00	44.62	1656.67	30.00	49.74	2216.67	30.00	66.50
1425.71	35.00	49.89	1620.00	35.00	56.73	2122.86	35.00	74.25
1377.50	40.00	55.08	1592.50	40.00	63.66	2060.00	40.00	82.36
1342.22	45.00	60.41	1555.56	45.00	69.97	1986.67	45.00	89.39
1314.00	50.00	65.70	1518.00	50.00	75.89	1930.00	50.00	92.46
1272.25	55.00	69.89	1371.98	55.00	78.90	1862.27	55.00	93.45
1235.21	60.00	74.56	1371.98	60.00	83.76	1797.52	60.00	94.56
1198.17	65.00	79.54	1334.73	65.00	88.76	1732.21	65.00	95.76
1161.13	70.00	83.56	1264.81	70.00	91.43	1667.08	70.00	96.32
1124.09	75.00	88.96	1194.90	75.00	93.67	1602.29	75.00	96.78
1272.25	80.00	93.45	1124.99	80.00	95.73	1537.13	80.00	97.42

1087.05	85.00	95.67	1055.08	85.00	96.89	1472.43	85.00	97.98
1050.00	90.00	96.78	985.17	90.00	97.88	1407.56	90.00	98.21
1012.96	95.00	97.12	915.25	95.00	98.53	1342.27	95.00	98.57
975.927	100.00	98.23	845.34	100	98.95	1277.92	100	98.94

#### 4. Evaluación de las propiedades reológicas del yogurt obtenido

4.1. Resultados del promedio de curvas Velocidad - %Par. y la aplicación del método Mitschka

**Tabla 6.** 8% leche en polvo y 5% pulpa de lúcuma

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
753.33	10	7.55	2.777	2.106
708.89	15	10.62	4.166	2.963
678.33	20	13.57	5.555	3.786
657.33	25	16.45	6.943	4.590
646.67	30	19.38	8.332	5.407
638.10	35	22.34	9.721	6.233
632.50	40	25.31	11.110	7.061
631.11	45	28.38	12.498	7.918
626.67	50	31.33	13.887	8.741
625.45	55	34.42	15.276	9.603
623.33	60	37.42	16.664	10.440
623.59	65	40.57	18.053	11.319
623.81	70	43.67	19.442	12.184
625.33	75	46.91	20.830	13.088
625.83	80	50.05	22.219	13.964
626.27	85	53.24	23.608	14.854
627.41	90	56.47	24.997	15.755
630.18	95	59.87	26.385	16.704
633.00	100	63.33	27.774	17.669

**Tabla 7.** 8% leche en polvo y 10% pulpa de lúcumá

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
1010.00	10.00	10.09	2.783	2.815
946.67	15.00	14.21	4.175	3.965
911.67	20.00	18.23	5.567	5.086
884.00	25.00	22.08	6.959	6.160
863.33	30.00	25.90	8.350	7.226
845.71	35.00	29.57	9.742	8.250
835.83	40.00	33.45	11.134	9.333
829.63	45.00	37.34	12.525	10.418
824.00	50.00	41.20	13.917	11.495
820.61	55.00	45.12	15.309	12.588
822.22	60.00	49.35	16.701	13.769
828.21	65.00	53.83	18.092	15.019
830.00	70.00	58.10	19.484	16.210
836.89	75.00	62.77	20.876	17.513
837.08	80.00	66.93	22.267	18.673
836.86	85.00	71.14	23.659	19.848
837.78	90.00	75.40	25.051	21.037
840.00	95.00	79.81	26.443	22.267
843.00	100.00	84.28	27.834	23.514

**Tabla 8.** 8% leche en polvo y 15% pulpa de lúcumá

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
433.33	10.00	4.33	2.627	1.208
402.22	15.00	6.01	3.940	1.677
385.00	20.00	7.70	5.253	2.148
374.67	25.00	9.40	6.567	2.623
371.11	30.00	11.15	7.880	3.111
369.52	35.00	12.95	9.193	3.613
370.83	40.00	14.82	10.507	4.135
371.85	45.00	16.73	11.820	4.668
372.67	50.00	18.63	13.133	5.198
373.94	55.00	20.56	14.447	5.736
376.11	60.00	22.57	15.760	6.297
377.44	65.00	24.50	17.074	6.836
380.48	70.00	26.62	18.387	7.427
380.44	75.00	28.55	19.700	7.965
382.50	80.00	30.58	21.014	8.532
383.92	85.00	32.66	22.327	9.112
385.93	90.00	34.73	23.640	9.690
387.37	95.00	36.80	24.954	10.267
387.67	100.00	38.78	26.267	10.820

**Tabla 9.** 10% leche en polvo y 5% pulpa de lúcumá

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
1073.33	10.00	10.74	2.992	2.996
973.33	15.00	14.57	4.488	4.065
898.33	20.00	17.95	5.984	5.008
852.00	25.00	21.32	7.480	5.948
828.89	30.00	24.87	8.976	6.939
810.48	35.00	28.38	10.472	7.918
796.67	40.00	31.88	11.968	8.895
784.44	45.00	35.30	13.464	9.849
778.67	50.00	38.92	14.960	10.859
773.94	55.00	42.60	16.456	11.885
767.78	60.00	46.09	17.952	12.859
764.10	65.00	49.67	19.448	13.858
755.24	70.00	52.87	20.944	14.751
754.67	75.00	56.59	22.441	15.789
750.42	80.00	60.00	23.937	16.740
747.06	85.00	63.49	25.433	17.714
742.96	90.00	66.88	26.929	18.660
738.86	95.00	70.27	28.425	19.606
734.76	100.00	73.66	29.921	20.552

**Tabla 10.** 10% leche en polvo y 10% pulpa de lúcumá

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
1383.33	10.00	13.84	3.214	3.861
1191.11	15.00	17.85	4.821	4.980
1081.67	20.00	21.61	6.428	6.029
1014.67	25.00	25.35	8.035	7.073
973.33	30.00	29.21	9.642	8.150
937.14	35.00	32.82	11.248	9.157
912.50	40.00	36.53	12.855	10.192
891.11	45.00	40.12	14.462	11.193
874.67	50.00	43.75	16.069	12.206
863.03	55.00	47.45	17.676	13.239
850.00	60.00	50.99	19.283	14.226
842.56	65.00	54.75	20.890	15.275
830.95	70.00	58.15	22.497	16.224
820.00	75.00	61.52	24.104	17.164
813.75	80.00	65.09	25.711	18.160
807.84	85.00	68.63	27.318	19.148
799.26	90.00	71.94	28.925	20.071
793.33	95.00	75.39	30.532	21.034
787.40	100.00	78.84	32.139	21.997

**Tabla 11.** 10% leche en polvo y 15% pulpa de lúcumo

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
780.00	10.00	7.78	2.734	2.171
717.78	15.00	10.76	4.101	3.002
688.33	20.00	13.77	5.469	3.842
674.67	25.00	16.89	6.836	4.712
668.89	30.00	20.07	8.203	5.600
662.86	35.00	23.18	9.570	6.467
658.33	40.00	26.36	10.937	7.354
656.30	45.00	29.54	12.304	8.242
654.67	50.00	32.72	13.671	9.129
651.52	55.00	35.84	15.038	9.999
653.33	60.00	39.19	16.406	10.934
653.85	65.00	42.53	17.773	11.866
650.48	70.00	45.56	19.140	12.711
652.89	75.00	49.00	20.507	13.671
652.92	80.00	52.25	21.874	14.578
654.12	85.00	55.60	23.241	15.512
655.93	90.00	59.04	24.608	16.472
655.79	95.00	62.31	25.975	17.384
656.67	100.00	65.68	27.343	18.325

**Tabla 12.** 12% leche en polvo y 5% pulpa de lúcumo

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
1336.67	10.00	13.38	3.288	3.733
1151.11	15.00	17.29	4.931	4.824
1040.00	20.00	20.82	6.575	5.809
976.00	25.00	24.39	8.219	6.805
931.11	30.00	27.93	9.863	7.792
896.19	35.00	31.35	11.507	8.747
871.67	40.00	34.88	13.150	9.732
851.11	45.00	38.30	14.794	10.686
834.67	50.00	41.75	16.438	11.648
820.00	55.00	45.13	18.082	12.591
808.89	60.00	48.53	19.726	13.540
800.00	65.00	52.00	21.369	14.508
789.05	70.00	55.24	23.013	15.412
781.33	75.00	58.59	24.657	16.347
771.67	80.00	61.76	26.301	17.231
762.01	85.00	64.93	27.900	18.100
752.35	90.00	68.100	29.499	18.969
742.69	95.00	71.270	31.098	19.838
733.03	100.00	74.440	32.697	20.707

**Tabla 13.** 12% leche en polvo y 10% pulpa de lúcumo

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
2066.67	10.00	20.67	3.168	5.767
1864.44	15.00	27.93	4.751	7.792
1733.33	20.00	34.64	6.335	9.665
1645.33	25.00	41.12	7.919	11.472
1576.67	30.00	47.29	9.503	13.194
1535.24	35.00	53.74	11.087	14.993
1494.17	40.00	59.77	12.670	16.676
1466.67	45.00	66.01	14.254	18.417
1436.67	50.00	71.82	15.838	20.038
1412.12	55.00	77.65	17.422	21.664
1388.33	60.00	83.28	19.005	23.235
1370.26	65.00	89.05	20.589	24.845
1346.19	70.00	94.23	22.173	26.290
1322.12	75.00	99.41	23.757	27.735
1298.05	80.00	104.59	25.341	29.180
1273.98	85.00	109.77	26.925	30.625
1249.91	90.00	114.95	28.509	32.070
1225.84	95.00	120.13	30.093	33.515
1201.77	100.00	125.31	31.677	34.960

**Tabla 14.** 12% leche en polvo y 15% pulpa de lúcumo

$\eta$ (mPa.s)	V(rpm)	%Par	$\gamma$ (1/s)	$\tau$ (Pa)
2383.33	10.00	23.81	3.276	6.643
2126.67	15.00	31.90	4.915	8.900
1956.67	20.00	39.11	6.553	10.912
1860.00	25.00	46.51	8.191	12.976
1786.67	30.00	53.62	9.829	14.960
1722.86	35.00	60.29	11.468	16.821
1676.67	40.00	67.03	13.106	18.701
1628.15	45.00	73.26	14.744	20.440
1587.33	50.00	79.35	16.382	22.139
1546.51	55.00	85.44	18.020	23.838
1505.69	60.00	91.53	19.658	25.537
1464.87	65.00	97.62	21.296	27.236
1424.05	70.00	103.71	22.934	28.935
1383.23	75.00	109.80	24.572	30.634
1342.41	80.00	115.89	26.210	32.333
1301.59	85.00	121.98	27.848	34.032
1260.77	90.00	128.07	29.486	35.731
1219.95	95.00	134.16	31.124	37.430
1179.13	100.00	140.25	32.762	39.129