



**Facultad de Ciencia y tecnología**

**Escuela de Ingeniería en Alimentos**

**Estudio de la viscosidad como parámetro de calidad de  
bebidas lácteas fermentadas expendidas en la ciudad de  
Cuenca-Ecuador**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de  
Ingeniera en Alimentos**

**Autora**

**Erika Yessenia Solórzano Bernal**

**Director**

**Piercosimo Tripaldi Capelletti**

**Cuenca – Ecuador**

**2018**

## DEDICATORIA

A Dios, porque a pesar de las dificultades de la vida siempre me brindó salud, fuerza y la confianza en mí para conseguir culminar este proceso.

A mi hija Eliana Amelí, motivo de cada esfuerzo y logro conseguido, la vida entera es ella y cada lágrima, preocupación y obstáculo lo superé gracias a su amor. Que la vida me permita seguir haciéndote sentir tan orgullosa como lo estoy yo de ti.

A mis padres Rubén y Gladys, quienes nunca me dejaron sola en el duro trayecto vivido a lo largo de estos años. Gracias a su esfuerzo, apoyo y paciencia hicieron posible todo lo logrado.

A mis familiares, quienes han sido parte importante y gran apoyo para lo conseguido. A mi tía Flor María que por su apoyo incondicional y gran amor significa mucho en mi vida, a mi hermano Kevin, mi hermana Daysi, mi sobrina Brittany y Ana Gabriela, quienes siempre han estado presentes en los más duros momentos.

A mi amiga Karla, quien ha sido el apoyo emocional más grande durante este camino y a mis amigos Sebastián y Felipe amigos de toda la vida que siempre han tenido una palabra de aliento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Doctor Piercosimo Tripaldi, director de mi proyecto de tesis por el conocimiento y apoyo brindado para culminar el mismo.

Al Ingeniero Andrés Pérez por haberme apoyado, ayudado y confiado en mí en el desarrollo de este proyecto. Gracias por la paciencia y el interés brindado.

A la ingeniera María Inés Valdéz por la ayuda brindada durante el desarrollo de este trabajo.

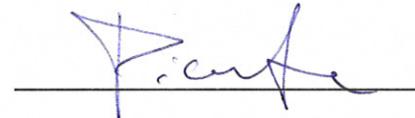
**Estudio de la viscosidad como parámetro de calidad de bebidas lácteas fermentadas expandidas en la ciudad de Cuenca - Ecuador.**

**RESUMEN**

En este trabajo, se midió la viscosidad de los diferentes tipos de bebidas lácteas fermentadas, a los resultados de viscosidad, se les aplicó técnicas de estadística multivariante, obteniendo como resultado, la generación de clusters que describen los diferentes tipos de bebidas lácteas fermentadas. Se midieron 97 muestras a tres temperaturas 21°C, 25°C Y 30°C, considerando que la variación de temperatura provoca modificación de la viscosidad. Se utilizó el modelo *de Ostwald de Waele* y se obtuvo un dendrograma el cual agrupó a las muestras por su comportamiento en siete clústers. Con la información recopilada no es posible, a este nivel, desarrollar modelos matemáticos confiables que permitan predecir comportamientos reológicos de yogures como instrumento de control de calidad.

  
\_\_\_\_\_

x  
Ing. María Fernanda Rosales M.  
Coordinadora Escuela  
Ingeniería en Alimentos  
  
ESCUELA  
Ingeniería en Alimentos

  
\_\_\_\_\_

Dr. Piercosimo Tripaldi Capelletti  
Director del trabajo de titulación.

  
\_\_\_\_\_

Erika Solórzano Bernal  
Autora

## Study of viscosity as a quality parameter of fermented milk drinks sold in Cuenca, Ecuador

### ABSTRACT

In this work, the viscosity of the different types of fermented milk drinks was measured. Multivariate statistics techniques were applied to the viscosity results, obtaining the generation of clusters that described the different types of fermented milk drinks. Considering that the variation of temperature causes a change in viscosity, 97 samples were measured at three temperatures: 21 °C, 25 °C and 30 °C. The Ostwald de Waele model was used and a dendrogram that grouped the samples by their behavior in seven clusters was obtained. It was not possible to develop reliable mathematical models that allow predicting rheological behaviors of yoghurts as a quality control instrument with the collected information and at this level.

MP Alicia Peñaq

Ing. María Fernanda Rosales M.

Food Engineering

Faculty Coordinator

Ingeniería en Alimentos

  
Magda Hiteorge  
UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas

Piercosimo

Dr. Piercosimo Tripaldi Capelletti

Thesis Director

Erika Solórzano Bernal

Erika Solórzano Bernal

Author

Paul Arpi

Translated by  
Ing. Paul Arpi

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>iv</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>10</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
1.1. <b>Determinación de la viscosidad. ....</b>	<b>10</b>
1.2. <b>Diseño experimental. ....</b>	<b>10</b>
1.3. <b>Estadística multivariante.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPITULO 2.....</b>	<b>12</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>12</b>
2.1. <b>Diseño experimental.....</b>	<b>12</b>
2.1.1 <b>Resultados del diseño Experimental .....</b>	<b>13</b>
2.2. <b>Determinación de la viscosidad. ....</b>	<b>17</b>
2.3. <b>Análisis multivariante.....</b>	<b>17</b>
2.4. <b>Agrupación de muestras por clúster. ....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>23</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>24</b>
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>25</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>27</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1. Diagrama de elaboración de yogurt.....</b>	<b>3</b>
<b>Figura 2. Clasificación de los fluidos. Fuente (Ramírez, 2006) .....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 3. Gráfica normal de efectos estandarizados. Postre lácteo.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 4. Gráfica de efectos normales (absolutos) estandarizados. Postre lácteo. ....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5. Gráfica normal de efectos estandarizados. Yogurt bebible.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 6. Gráfica de efectos normales (absolutos). Yogurt bebible.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 7. Dendrograma obtenido de análisis del total de muestras.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 8. Clasificación del clúster por su color.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 9. Expresión en porcentaje de la cantidad de datos dentro de cada clúster expresado por marcas.....</b>	<b>22</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Análisis bromatológico del yogurt bebible y postre lácteo.....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 2. Diseño experimental para obtención de yogurt tipo bebible. ....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 3. Diseño experimental para obtención de postre lácteo. ....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 4. Resultados del diseño experimental para postre lácteo. ....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 5. Resultados del diseño experimental para yogurt bebible. ....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 6. Agrupación por clúster de muestras de bebidas y batidos de yogurt. ....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 7. Agrupación por clúster de muestras de postres lácteos y postres de yogurt. ....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 8. Agrupación por clúster de muestras de kumis presentes en el mercado.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 9. Agrupación por clúster de muestras de yogurt.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 10. Agrupación por clúster de muestras de yogurt artesanal.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 11. Agrupación por clúster de muestras de yogurt griego. ....</b>	<b>22</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1. NORMA INEN 2395. Especificaciones de las leches fermentadas. ....</b>	<b>27</b>
<b>Anexo 2. Formato de fichas de análisis sensorial.....</b>	<b>27</b>
<b>Anexo 3. LISTA DE MUESTRAS ANALIZADAS.....</b>	<b>30</b>

Erika Yessenia Solórzano Bernal  
Trabajo de graduación  
Dr. Piercosimo Tripaldi Capelletti  
Octubre, 2018.

**Estudio de la viscosidad como parámetro de calidad de bebidas lácteas fermentadas  
expendidas en la ciudad de Cuenca-Ecuador**

**INTRODUCCIÓN**

**Bebidas lácteas fermentadas. Yogurt.**

La leche fermentada es un producto lácteo que se obtiene por medio de la acción de microorganismos apropiados teniendo como resultado el descenso del pH. Estos cultivos de microorganismos serán viables, activos y abundantes en el producto (FAO, 2011).

El consumo y producción de leches fermentadas y yogurt aumenta cada día por sus propiedades, sus alternativas de producción y la presencia de bacterias ácido lácticas (BAL). Estas bacterias se obtienen del procesamiento dado y son microorganismos probióticos que actúan en la preservación de la calidad de estos productos. Las BAL contribuyen a la inhibición del desarrollo de gran número de bacterias sobre todo patógenas. Los probióticos se consideran microorganismos vivos que al ser consumidos en cantidades apropiadas confieren beneficios en la salud, por lo que su adición a leches fermentadas y otros derivados lácteos, ha aumentado considerablemente (Baròn Nùñez, 2010; Ramírez, 2011; Romero, 2004).

El sistema inmunológico del consumidor puede verse afectado de manera positiva, ya que los microorganismos probióticos ayudan a fortalecerlo. Los alimentos con presencia de estos microorganismos benefician la salud del consumidor a más de las características nutricionales propias. Según Villanova (2015) la mayor evidencia clínica se vincula a su uso en beneficio de la salud intestinal y estímulo de la función inmunitaria. Por esta razón, la flora intestinal tiene un papel importantísimo en nuestro estado de salud, al ser los probióticos utilizados para estimular el sistema inmunológico, manteniendo un equilibrio en esta.

Siendo un derivado lácteo fermentado, el yogurt puede proceder de oveja, cabra, búfala o vaca; donde se inoculan microorganismos para su posterior fermentación, bajo condiciones definidas de tiempo y temperatura. Dicho producto se coagula mediante la fermentación de la leche a partir de la adición bacterias ácido lácticas. Las bacterias más comunes que son responsables de estos efectos son: *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. En su mayoría, los yogures comercializados son obtenidos de leche de vaca por la producción

abundante ya que su composición es la adecuada para elaborar este producto (Pinto Rodríguez, 2013; Gaona, 2017; Molina, 2009).

Los microorganismos transforman la lactosa en ácido láctico primordialmente al llevar a cabo una fermentación ácido láctica y un aumento de su viscosidad por la coagulación de sus proteínas. Cada especie de bacterias utilizadas para la fermentación de la leche estimula el crecimiento de la otra y el producto que se obtiene de su metabolismo da como resultado una textura cremosa característica y ligero sabor ácido. El yogurt es un producto que otorga un alto contenido de nutrientes, hidratos de carbono, proteínas y minerales. También aporta como fuente de vitaminas, entre las que podemos mencionar son: las del grupo B y en menor proporción la vitamina A. Se compone de vitaminas (riboflavina, niacina, vitaminas B6 y B12), proteínas (principalmente esenciales), carbohidratos (glucosa, galactosa y lactosa), lípidos (ácido linoléico conjugado y derivados) y minerales (calcio, fósforo y magnesio) (Molina, 2009; Bello, 2004; Muñoz & Pazmiño, 2011).

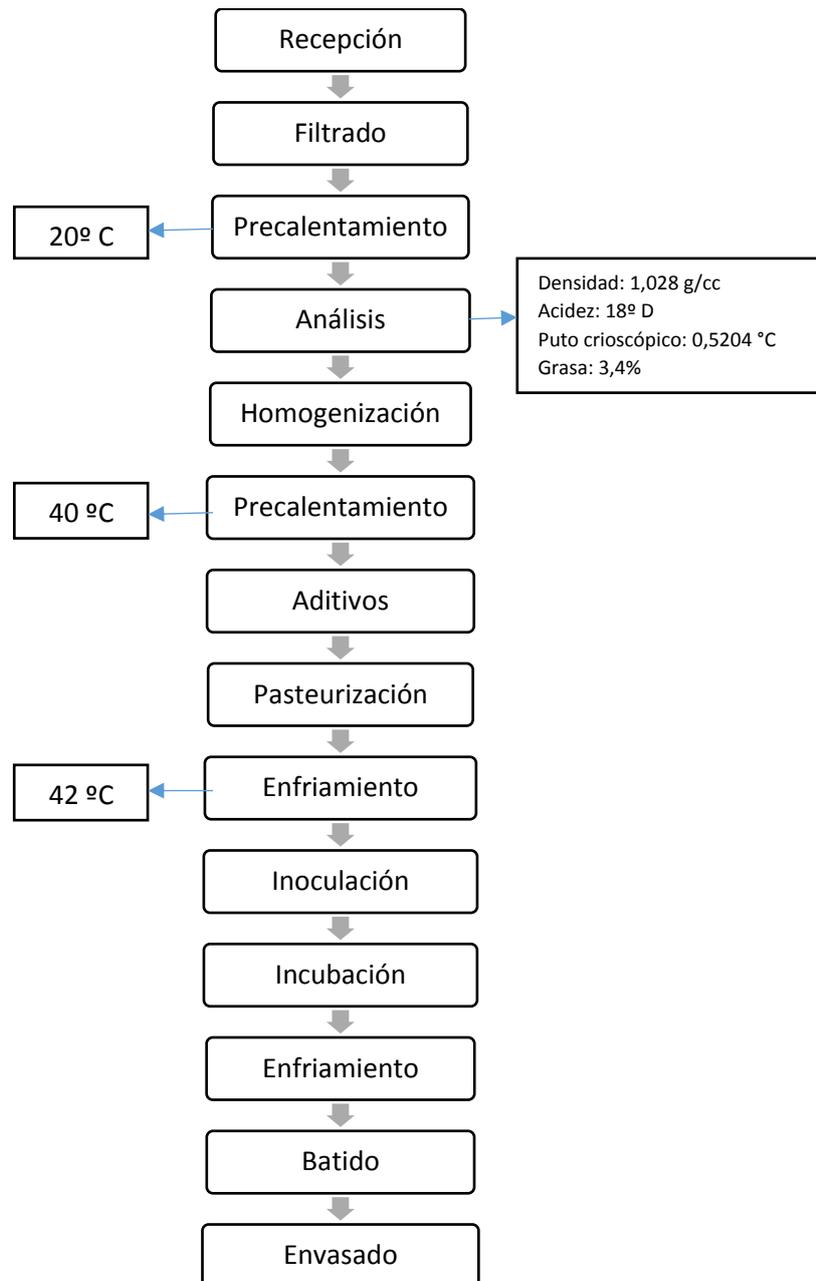
El yogurt, que es consumido de forma constante y amplia se presenta para su comercialización en diferentes formas, mencionando también que este producto fermentado ha sido utilizado como un medio eficaz para incorporar otros nutrientes como por ejemplo componentes alimenticios, ingredientes prebióticos, fibra, etc. (Reyes & Ruiz Vélez, 2015).

Dependiendo de su consistencia pueden clasificarse en coagulados, congelados, líquidos, tipo firme o tipo mousse. De igual forma, por su composición tenemos yogures descremados, semidescremados, normales y enriquecidos; y dependiendo de su sabor el yogurt puede ser natural, con azúcar, con sabores, con fruta o con otros aditivos o sabores (Pinto Rodríguez, 2013).

El yogurt, también se presenta en el mercado en dos formas: asentado (la estructura del gel es desarrollada durante la fermentación que se realiza dentro del envase, lo que lo hace un gel continuo semisólido) y batido (la estructura se da durante la fermentación a granel y desintegrada en procesos posteriores). Comparado con la leche, el yogurt es más nutritivo con referencia a contenido de vitaminas, digestibilidad y como fuente de calcio y fósforo (Reyes & Veléz Ruiz, 2015; Parra, 2013; Enriquez, 2012).

Desde la visión de la salud, el yogurt se conoce como un producto que puede contribuir a la prevención de enfermedades como el cáncer de colon, disminuye el colesterol, ayuda a mantener la flora intestinal, permite absorber grasa mucho más fácil. Es considerado un alimento funcional ya que el ácido láctico producido inhibe el desarrollo de flora patógena en el tracto gastrointestinal del consumidor, a la vez de que promueve la formación de la flora benéfica y aumenta los movimientos peristálticos ayudando a favorecer el tránsito intestinal controlando los posibles casos de diarrea y estreñimiento. Su acción sobre el sistema digestivo lo convierte en una defensa natural contra infecciones. La lactosa que contiene es mínima a partir de que la mayor parte se fermenta a ácido láctico, beneficiando y permitiendo el consumo a las personas con intolerancia a la lactosa. Su procesamiento tiene que ser

controlado sobre todo en las temperaturas de fermentación, se explica en la figura 1 (Gaona, 2017; Muñoz & Pazmiño; 2011; Naranjo & Vera, 2012).



**Figura 1. Diagrama de elaboración de yogurt.**

## Reología

La definición que da la real academia de la lengua española al término **reología** es 'estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos'. Fue fundada por dos científicos, los cuales tuvieron la necesidad de describir las propiedades de flujo de los fluidos. Estos fueron los profesores Marcus Reiner y Eugene Bingham. Desde el año 1929 ha

obtenido un campo amplio en muchas industrias, lo que ha permitido su desarrollo (Monsalve, 2010; Ramirez, 2006; Rojas, Briceño & Avedaño, 2012).

La reología es definida como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia. Estudia la manera en que los materiales responden al estrés o tensión aplicada. Existen muchas razones que justifican el estudio del comportamiento reológico de los alimentos. Se destacan algunas a continuación: *Diseño de procesos y equipos*. Es importante conocer las propiedades del comportamiento de deformación y flujo de los alimentos para poder dimensionar y diseñar equipos como por ejemplo tuberías, cintas transportadoras, tanques de almacenamiento y bombas. Agregando que la viscosidad es utilizada para el cálculo de fenómenos de transporte de calor, energía y cantidad de movimiento. *Evaluación sensorial*: Se pueden utilizar los datos reológicos para mejorar la formulación y el proceso de elaboración del producto y obtener así la aceptación por parte del consumidor de la textura del mismo. *Información acerca de la estructura del alimento*: Al realizar estudios reológicos se obtiene información que proporciona una mejor comprensión de la estructura de los componentes macromoleculares, principalmente, y se puede predecir cambios estructurales en los procesos de acondicionamiento y elaboración. *Control de calidad*: Es importante controlar el buen funcionamiento del proceso productivo y las medidas de la viscosidad son útiles para este propósito controlando la calidad de las materias primas y productos acabados (Steffe, 1996; González, 2014; Ramírez J, 2006).

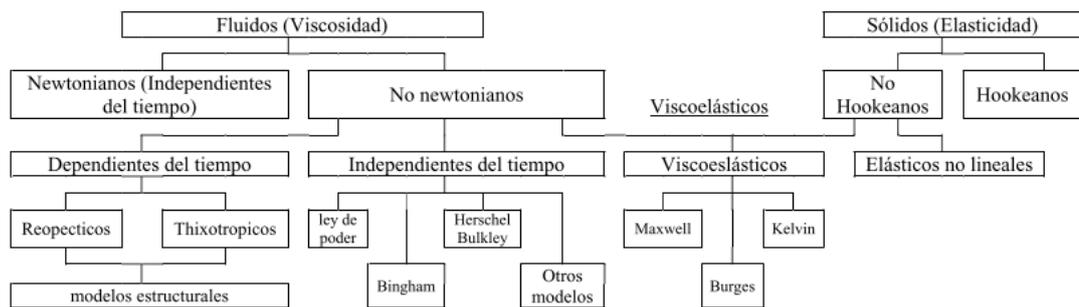
En el caso de las bebidas lácteas fermentadas, se pueden ver afectados sus parámetros reológicos por el crecimiento de las bacterias que se usan para la fermentación; dado que en esta etapa existen variaciones en la composición nutricional, sucediendo aquí el consumo de lactosa y la producción de ácidos. Se originan metabolitos como acetaldehído, diacetilos, ácido láctico y compuestos orgánicos que intervienen con las características sensoriales de éstos productos (González, Pérez, & Urbina, 2014).

*La reometría* (del griego rheos) se define como la ciencia que representa los métodos de medida y los instrumentos que facilitan obtener datos reológicos de un material. Esta ciencia expresa las relaciones cuantitativas y cualitativas entre la deformación y la tensión mecánica. Una aplicación típica de ésta es la medida de viscosidad. La reología de fluidos describe la consistencia mediante la viscosidad y la elasticidad. La viscosidad siendo la resistencia a fluir o el espesamiento y la elasticidad proponiéndose como la pegajosidad o la estructura (Rojas, Briceño, & Avedaño, 2012).

*Fluidos*. Se puede definir fluido cómo una sustancia que se deforma continuamente con la aplicación de esfuerzos cortantes. Estas propiedades se definen a partir de la relación entre un sistema de fuerzas externas y su respuesta, como deformación o flujo. Todo fluido se va deformar al someterse a un sistema de fuerzas externas sea en mayor o menor medida. Para estudiar a los fluidos se los puede someter a cizallamiento continuo a una velocidad constante. Los alimentos líquidos tienen variedad de comportamientos reológicos que van desde newtonianos, no newtonianos hasta viscoelásticos. Su clasificación se explica en la

figura 2. Se aplica de forma oscilatoria una velocidad de cizalla sobre un material y se mide la respuesta del esfuerzo y del ángulo de fase entre el esfuerzo y la deformación (Steffe, 1996; González, 2014).

Podemos definir como alimentos líquidos a aquellos que no conservan su forma sino que toman la de su envase. La relación entre el esfuerzo de cizalla para inducir una velocidad de deformación de cizalla es la que da la característica del comportamiento reológico de un fluido (Rao, 1999; Ramirez, 2006).



**Figura 2. Clasificación de los fluidos. Fuente (Ramírez, 2006)**

Se pueden clasificar en tres tipos: *Newtonianos* que poseen proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, su viscosidad es constante e independiente de la velocidad cortante; *No Newtonianos* en los que no existe proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, se clasifican en dependientes e independientes del tiempo; y *Viscoelásticos*, los cuales se pueden comportar como líquidos y sólidos (Ramírez, 2006).

*Fluidos no newtonianos independientes del tiempo de aplicación.* Se pueden diferenciar estos fluidos dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral, o sea, si requieren un mínimo valor de esfuerzo cortante para poner en movimiento al fluido.

Fluidos sin esfuerzo umbral. Estos pueden ser: fluidos pseudoplásticos que se caracterizan por la disminución de su viscosidad y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación y fluidos dilatantes que se presentan como suspensiones en donde se da un aumento de viscosidad o aumento del esfuerzo cortante con la velocidad de deformación. Fluidos con esfuerzo umbral o plásticos. Este se comporta como un sólido hasta que sobrepasa el mínimo esfuerzo cortante o llamado esfuerzo umbral y a partir esto se comporta como un líquido.

*Fluidos no newtonianos dependientes del tiempo de aplicación.* Se clasifican en dos: los fluidos tixotrópicos, la viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, y recupera su estado inicial después de un tiempo de reposo, y fluidos reopécticos,

donde su viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación del esfuerzo y regresan a su estado inicial después del reposo. Las bebidas lácteas fermentadas se pueden caracterizar como fluidos tixotrópicos donde la viscosidad aparente decrece con el tiempo, al ser sujeto a una cizalladura constante (Gaviria, 2009; Ramirez J, 2006).

**Viscosidad.** Es una propiedad de transporte relacionada con la resistencia que ofrece un fluido al ser deformado por un esfuerzo aplicado y se muestra como una variable que depende de varios parámetros, al obedecer leyes de acuerdo al tipo de material con el que se trate, se conoce que los coeficientes de viscosidad de los líquidos son más altos que los de los gases. La viscosidad del yogurt no depende solamente del contenido de grasa, sino también del fermento y de un estabilizante especialmente. Para que se pueda medir el flujo de un material es necesario que este pase por medios mecánicos, medir la fuerza requerida y convertir las fuerzas medidas para que se puedan comparar con otros valores (Martínez, 2010; Ramírez J, 2006; Monsalve, 2010; Naranjo & Vera, 2012).

**Velocidad de deformación o cizallamiento.** La deformación se entiende como la modificación de la forma o el tamaño de un cuerpo por esfuerzos internos que ocurren solamente cuando se aplican fuerzas sobre éste. La velocidad de deformación puede expresarse como la determinación de la magnitud de la deformación dividida por el tiempo que tarde en producirse y los líquidos obedecen a una ecuación de estado que establece una relación entre tensión y velocidad de deformación. Para conocer el comportamiento viscoso de un líquido se debe determinar el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación. Al gráfico que expresa la relación de esfuerzo de corte y rapidez de deformación se lo denomina curva de flujo o reograma y la pendiente de estas curvas representa el comportamiento viscoso (Ramírez, 2006).

La Ley de Newton de la viscosidad establece que la fuerza de cizalla por unidad de área es proporcional al gradiente negativo de la velocidad local, los fluidos que cumplen esta ley se llaman fluidos newtonianos en los que la viscosidad es constante y no depende de la rapidez de deformación. Aquellos fluidos que no cumplen la ley mencionada son llamados fluidos no newtonianos y dependiendo de cómo varía la viscosidad con la tasa de deformación se puede clasificar su comportamiento en fluidos reofluidizantes o pseudoplásticos que experimentan reducción de la viscosidad al incrementarse el esfuerzo aplicado y reoespesantes o plásticos que aumentan su viscosidad con el incremento del esfuerzo. También se tiene un comportamiento diferente llamado viscoplástico donde se necesita un llamado esfuerzo umbral o de cedencia mínimo aplicado. El comportamiento reofluidizante es más común que los otros mencionados (Monsalve, 2010; Méndez, Pérez, & Paniagua, 2010).

La viscosidad puede variar dependiendo de varios factores como la presión, velocidad de deformación y temperatura. La viscosidad en los líquidos aumenta con la presión y solamente en el caso de agua a menos de 30 ° C disminuye, aunque los cambios dados con variación

de presión son bastante pequeños y cuando se trabaja en el viscosímetro se ignora. Respecto a la variación de la viscosidad con la velocidad de deformación o cizalla en donde se toma en cuenta la diferencia primordial entre fluidos newtonianos y no newtonianos, que es la longitud de la molécula del fluido presentando los diferentes comportamientos previamente explicados. Se observa que la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura y la relación más admitida es de tipo Arrhenius. En fluidos no newtonianos tiene una enorme importancia dado que a menudo pequeñas variaciones de temperatura pueden modificar de manera notoria el comportamiento reológico, la dependencia es exponencial y puede haber variaciones de hasta un 10% por cada °C modificado (Ramírez, 2006 & Monsalve, 2010).

**El Viscosímetro** es un caso especial de reómetro, mide la función de cizallamiento estacionario de la viscosidad y existen algunos tipos. *Los viscosímetros de rotación* se basan en la fuerza que se necesita para hacer rotar un sólido dentro de un fluido. Los viscosímetros de Coutte y Searle se fundamentan en determinar el torque necesario para que la rotación sea producida. En el viscosímetro de Coutte el cilindro exterior es el que rota y en el de Searle, rota el cilindro interior. Los viscosímetros de bola, se basan en una bola que va a descender en un líquido que se encuentra en reposo. *El viscosímetro de Oswald* asienta su funcionamiento en la medida del tiempo que toma a un fluido circular por un tubo capilar, se aplica únicamente a fluidos newtonianos. *El viscosímetro de pistón oscilante o electromagnético* donde el pistón se introduce en el fluido, luego se hace oscilar con la presencia de un campo magnético y genera fuerzas de corte en el fluido (Ramírez, 2006 & Monsalve, 2010).

**Aditivos alimentarios.** El *Codex Alimentarius* define a los aditivos como: “sustancias que no se consumen como alimento, ni tampoco se usa como un ingrediente básico en alimentos, puede o no tener valor nutritivo. Estas sustancias son añadidas intencionalmente en el alimento con fines organolépticos, tecnológicos, en las etapas de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento. Esta definición no contiene “contaminantes” o sustancias agregadas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutritivas” (CODEX, 2013). Puede definirse también como una sustancia que no se consume como alimento, ni como ingrediente básico en este y cuya adición en el producto es intencionada con fines tecnológicos (Naranjo & Vera, 2012).

Los aditivos utilizados en la industria en bebidas lácteas fermentadas como yogurt, son principalmente, los estabilizantes que se usan para modificar la consistencia y textura del yogurt, posibilitan el mantenimiento de una dispersión uniforme de dos o más sustancias no miscibles; ayudan a la resistencia a incrementos de temperatura y esfuerzos mecánicos; contribuyen a estabilizar la estructura de los alimentos ya que mejoran la palatabilidad y evitan sinéresis, siendo los más utilizados las gomas cuya función es regular la consistencia ya que “luego de la hidratación forman enlaces o puentes de hidrógeno que a través de todo el producto forman una red que reduce la movilidad del agua”, al ser ésta es una característica

que se trata de evitar en estos productos y presentarse como un reto para la industria. Generalmente los estabilizantes no cumplen de forma independiente todas las funciones que se desea, pero al mezclarlos y combinarlos se obtienen mejores resultados. Entre los utilizados en este proceso también se puede mencionar la gelatina, las gomas, los almidones y la pectina (Molina, 2009) (Naranjo & Vera, 2012).

El estabilizante debe cumplir con algunas funciones como: estabilizar proteínas en el proceso cuando se dan tratamientos térmicos, reducir la sedimentación, aportar en la homogeneidad de los ingredientes, aumentar la fuerza del gel, modificar la textura, evitar la separación del suero, entre otros. A continuación, se indican las características de algunos de los más utilizados en el procesamiento de bebidas lácteas fermentadas:

**Carragenina.** La carragenina se extrae de algas marinas rojas de las especies *Gigartina*, *Hypnea*, *Eucheuma*, *Iridaea* y *Chondrus*; y se utiliza normalmente en la industria alimentaria como gelificante, espesante, emulsificante, agente de suspensión y estabilizante; además de que reacciona con las proteínas y forma una amplia variedad de texturas en lácteos. Se debe consumir en cantidades bajas tomando en cuenta seguridad de la salud del consumidor dado que se ha demostrado la presencia de úlceras en pruebas con cantidades altas sobre animales, pero no en el hombre.

**Goma Xantán.** Se obtiene de la fermentación de carbohidratos con la bacteria *Xantomonas campestris*, aunque no es una agente gelificante combinándola con goma locuste puede formar geles elásticos y termorreversibles; funciona también como un coloide hidrófilo el cual ayuda a espesar, suspender y estabilizar emulsiones, es resistente a la degradación enzimática, presenta sinérgia con las gomas: guar, locus bean gum, y konjac manan. Es soluble en agua fría o caliente y las viscosidades producidas con bajas concentraciones son muy elevadas, es estable al calor y pH; y se aplica en la industria alimentaria como espesante, estabilizante y agente para mantener la viscosidad.

**Goma de algarrobo.** Es una goma natural que se obtiene de las semillas de Tara *Caesalpinia Spinosa*, actúa como espesante, estabilizante, aglomerante, coloide y como capa protectora; presentando la ventaja de ser incolora, insípida, estable y resistente a la descomposición.

**Maltodextrina.** La maltodextrina es una composición de carbohidratos que provienen de la transformación enzimática del almidón de maíz, es un carbohidrato complejo capaz de liberar una gran cantidad de unidades de glucosa en forma continua y lenta.

**Pectina.** Es una sustancia natural que está presente en la cáscara de las frutas principalmente en cítricos; se aplica como gelatinizante en yogures.

**Gelatina.** La gelatina se obtiene del colágeno a partir de una hidrólisis selectiva, tiene características como retención de agua, gelatiniza a temperaturas mayores que 60°C, su digestibilidad es baja y se aplica en la industria para obtener una textura aflanada en alimentos.

**Sorbato de potasio.** Es una sal que actúa efectivamente contra hongos y ciertas bacterias como *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum* y *Vibrio parahaemoliticus*.

Su uso está permitido en todo el mundo en concentraciones entre 0.15 y 0.25% tomando en cuenta que el uso de aditivos es de acuerdo a las necesidades de la producción, pero no sobrepasando la ingesta máxima permitida.

Benzoato de sodio. El benzoato de sodio es una sal de ácido benzoico que se utiliza en concentraciones de 0.15 a 0.25%, en la industria alimenticia se utiliza como conservante, los benzoatos controlan efectivamente mohos y levaduras, mucho mejor que sobre las bacterias. Para una acción más efectiva se utilizan mezclas con sorbatos los productos (Muñoz & Pazmiño, 2011; Naranjo & Vera, 2012; Molina 2009).

**Análisis estadístico multivariante.** El análisis estadístico multivariante forma parte de la estadística como aquel que estudia, representa, analiza y ayuda a interpretar datos que son resultado de más de una variable estadística sobre una muestra. Las variables que se observan son homogéneas y se correlacionan, sin predominar una sobre otra. La información obtenida tras este análisis se presenta de una forma multidimensional, por lo cual el cálculo matricial, la geometría y las distribuciones multivariantes son muy importantes (Alvarez, 2015).

Dentro de las técnicas de estadística multivariante que se van a utilizar están: El análisis de conglomerados, el método K-medias, Cluster jerárquico aglomerativo y la presentación de datos a través de dendrogramas. *El análisis de clusters o conglomerados* es una técnica exploratoria con el objetivo de agrupar elementos por sus características. Se clasifican los elementos de manera que cada uno es muy parecido a los que hay en el mismo clúster con respecto a algún criterio preestablecido; los clústers que dan como resultado deben ser homogéneos internamente y heterogéneos entre ellos con el fin de lograr una buena agrupación. *El algoritmo de K-medias* es un algoritmo de aprendizaje para resolver el problema de la clusterización. El procedimiento aproxima por etapas sucesivas un cierto número (prefijado) de clusters haciendo uso de los centroides de los puntos que deben representar. *Un clúster jerárquico aglomerativo* es aquel en el que inicialmente se forman clusters individuales, cada uno de los cuales contiene un único elemento. En cada iteración se unen los dos clusters más próximos y el procedimiento finaliza cuando solo haya un clúster. *Un dendrograma* es una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un análisis de clústers. Los objetos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud o disimilitud entre los objetos (Expósito, 2011; Barón, 2002; Sancho, 2015).

## CAPÍTULO 1

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1.1. Determinación de la viscosidad.

La determinación de la viscosidad se realizó con un viscosímetro rotacional EVO EXPERT desarrollado por Fungilab con el principio de rotación de un cilindro o husillo sumergido en el fluido que será la muestra. Este cilindro o husillo que gira se acopla al eje de un rotor que gira con una velocidad dada y mide la fuerza de torsión (Martínez, 2010).

El equipo tiene la capacidad de convertir de forma automática el torque medido, en viscosidad. Para determinar la viscosidad y el tipo de fluido con el que se trabaja, se midió la torsión necesaria para producir la rotación con la velocidad que se da, siendo importante determinar estas características para este equipo, ya que varían en función de la geometría del aparato utilizado para caracterización del fluido.

#### 1.2. Diseño experimental.

Se aplicó el diseño experimental factorial  $2^k$  donde se ensayan  $k$  factores y si el experimento no es replicado,  $2^k$  es el número de pruebas a realizar. Para construir y analizar los resultados de esta matriz no es necesario un software especializado por lo cual resultó adecuado para la obtención de dos tipos de yogurt que posteriormente fueron analizados de igual manera con el resto de muestras. “Cada factor se estudia a sólo dos niveles en donde sus experimentos examinan todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores. La matriz comprende  $2^k$  filas ( $2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$  experimentos) y  $k$  columnas, que corresponden a los  $k$  factores en estudio” “Si se construye en el orden estándar, cada columna empieza por el signo  $-$ , y se alternan los signos  $-$  y  $+$  con frecuencia 20 para  $x_1$ , 21 para  $x_2$ , 22 para  $x_3$ , y así sucesivamente hasta  $x_k$ , donde los signos se alternan con una frecuencia  $2^{k-1}$ ” (Pagura, Hernández & Dianda, 2015; Ferré, 2011).

#### 1.3. Estadística multivariante.

Con los datos obtenidos se aplicaron técnicas de estadística multivariante para el desarrollo del modelo matemático de Ostwald de Waele que relacionan el comportamiento reológico de las muestras con su composición utilizando toolbox especializados de Matlab para obtener finalmente un dendrograma y a partir de éste trabajar por la clasificación en clústers (Méndez, Pérez, & Paniagua, 2010).

*Modelo de Ostwald de Waele.* Expresado en la ecuación 1, a menudo se le denomina ley de la potencia, se aplica en dos parámetros:  $K$  como el índice de consistencia y  $n$  como el índice de la potencia.

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

Ecuación 1.

Los valores de  $n$  permiten identificar el comportamiento reológico de la siguiente forma:  $n < 1$ : El comportamiento será pseudoplástico;  $n = 1$ : El comportamiento será Newtoniano y;  $n > 1$ : El comportamiento será dilatante. “El modelo de ley de potencia representa apropiadamente la viscosidad de la suspensión de la región lineal de la curva de viscosidad versus la tasa de cizalladura en un plano log-log, cuya pendiente sería  $(n-1)$ ” (Quintáns, 2008; Bustamante, 1999).

## CAPITULO 2 RESULTADOS

### 2.1. Diseño experimental

Previo al análisis de datos se realizó un diseño experimental factorial  $2^k$  para la obtención de dos tipos de bebidas lácteas fermentadas: un yogurt bebible y un postre lácteo. Se presentaron como variables en estas pruebas los aditivos mayormente empleados en la fabricación de este tipo de bebidas. En el yogurt bebible las variables para el desarrollo del diseño experimental fueron carragenina, pectina y gelatina; mientras que, en el postre lácteo se presentaron como variables carragenina, pectina y leche en polvo. Para obtener la formulación adecuada de cada tipo de bebida que se desarrolló se realizaron fichas de análisis sensorial con la participación de cinco catadores semi entrenados obteniendo finalmente las dos muestras, que a continuación se unieron a las obtenidas previamente para su análisis.

Se realizaron análisis bromatológicos de los dos tipos de bebidas fermentadas, cuyos resultados se expresan en la tabla 1.

**Tabla 1. Análisis bromatológico del yogurt bebible y postre lácteo.**

<b>Yogurt bebible</b>		
Proteína (%)	Grasa (%)	Acidez (%)
3,3	3,14	0,72
<b>Postre lácteo</b>		
Proteína (%)	Grasa (%)	Acidez (%)
9	3,2	0,67

**Tabla 2. Diseño experimental para obtención de yogurt tipo bebible.**

OrdenEst	Gelatina	Garragenina	Pectina	RESPUESTA*
1	-1	-1	-1	4,64
2	1	-1	-1	4,2
3	-1	1	-1	3,88
<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>4,68</b>
5	-1	-1	1	4,08
6	1	-1	1	3,52
7	-1	1	1	4,32
8	1	1	1	4,24
Blanco	0	0	0	4,48
Blanco	0	0	0	4,48
Blanco	0	0	0	3,72

\* La respuesta se obtiene de la valoración de los datos obtenidos de la catación de los experimentos.

**Tabla 3. Diseño experimental para obtención de postre lácteo.**

OrdenEst	Gelatina	Garragenina	Pectina	RESPUESTA*
1	-1	-1	-1	3,96
2	1	-1	-1	3,44
<b>3</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>4,8</b>
4	1	1	-1	4,32
5	-1	-1	1	3,96
6	1	-1	1	4
7	-1	1	1	3,88
8	1	1	1	3,88
blanco	0	0	0	4,08
blanco	0	0	0	4,28

\* La respuesta se obtiene de la valoración de los datos obtenidos de la catación de los experimentos.

### 2.1.1 Resultados del diseño Experimental

#### Postre lácteo obtenido del diseño experimental.

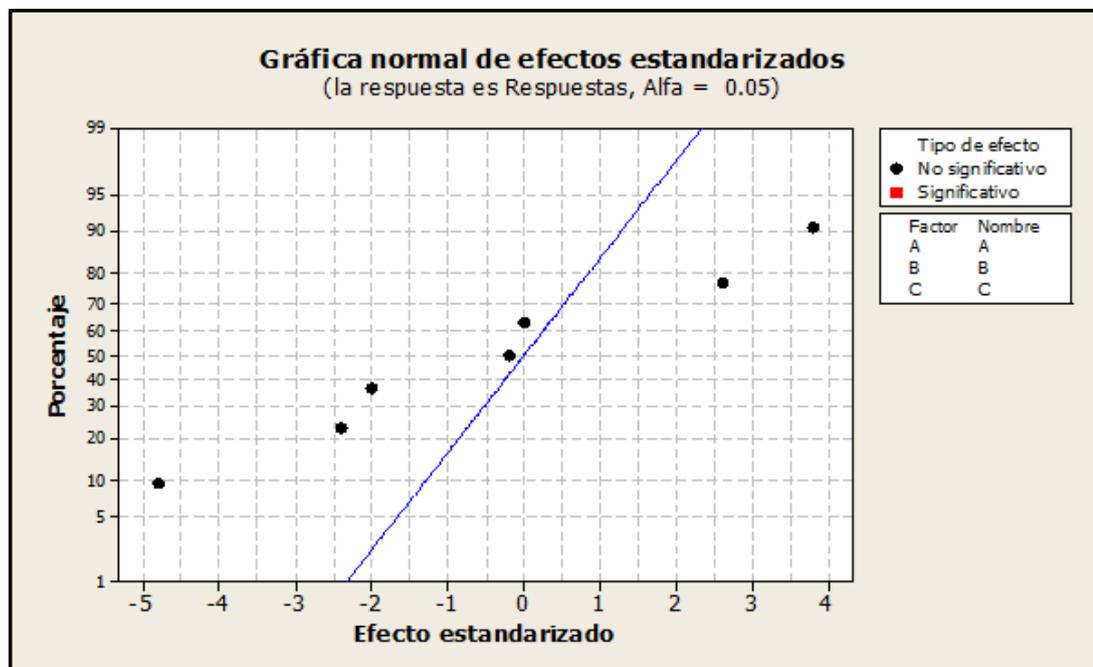
Tanto los factores como la combinación de los mismos no son significativos en la formulación del producto sin embargo analizando los efectos y las gráficas se observa que la combinación

entre la variable b (gelatina) y c (leche en polvo) tiene un efecto negativo sobre la formulación, aunque no es significativo mientras que la presencia de b (gelatina) tiene un efecto positivo sobre la formulación, aunque no es significativo.

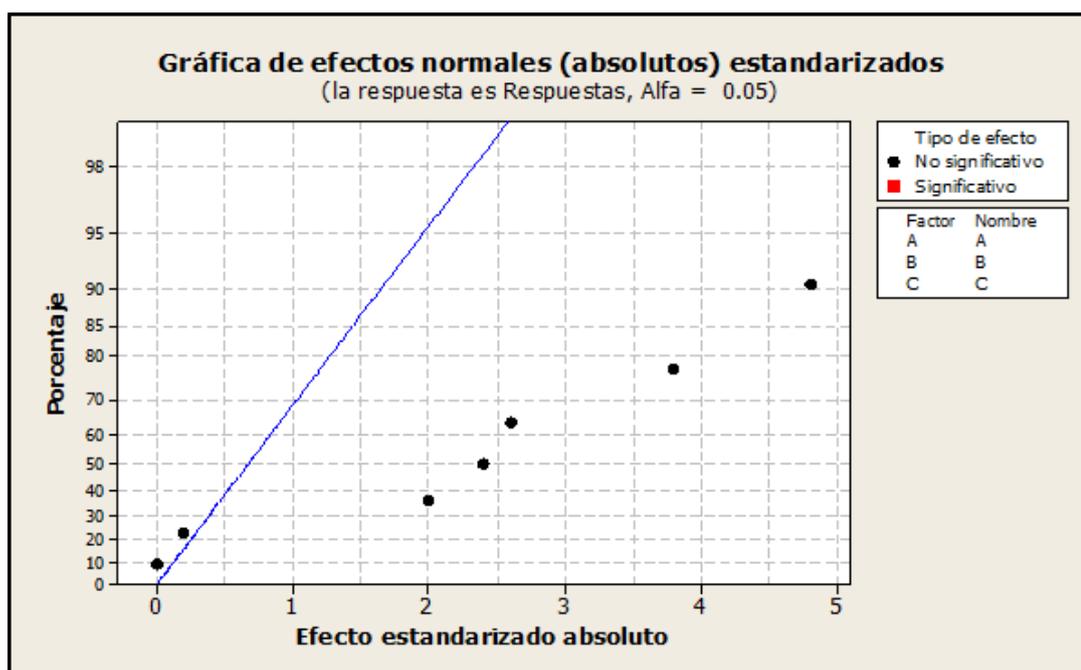
**Tabla 4. Resultados del diseño experimental para postre lácteo.**

Postre lácteo				
Término	Efecto	Coefficientes del modelo	Error estándar	T de student
Constante	4,03	0,05	80,6	
A (Carragenina)	-0,24	-0,12	0,05	0,251
B (Gelatina)	0,38	0,19	0,05	0,164
C (Leche en polvo)	-0,2	-0,1	0,05	0,295
A*B	0	0	0,05	1
A*C	0,26	0,13	0,05	0,234
B*C	-0,48	-0,24	0,05	0,131
A*B*C	-0,02	-0,01	0,05	0,874
Pt		0,15	0,1118	0,408

T crítico = 2.63, alfa = 0.05, GL = 10



**Figura 3. Gráfica normal de efectos estandarizados. Postre lácteo.**



**Figura 4. Gráfica de efectos normales (absolutos) estandarizados. Postre lácteo.**

#### Yogurt bebible obtenido del diseño experimental.

Los factores y la combinación de estos no son significativos en la formulación del yogurt bebible sin embargo al analizar los efectos y gráficas se observa que la presencia de c (pectina) tiene un efecto negativo sobre la formulación, aunque no es significativo y el efecto de la mezcla a (gelatina) y b (carragenina) influye de forma positiva, aunque tampoco es significativo.

**Tabla 5. Resultados del diseño experimental para yogurt bebible.**

YOGURT BEBIBLE				
Término	Efecto	Coefficientes del modelo	Error estándar	T de student
Constante	4,195	0,1551	27,04	
A (Gelatina)	-0,07	-0,035	0,1551	0,842
B (Carragenina)	0,17	0,085	0,1551	0,639
C (Pectina)	-0,31	-0,155	0,1551	0,423
A*B	0,43	0,215	0,1551	0,3
A*C	-0,25	-0,125	0,1551	0,505
B*C	0,31	0,155	0,1551	0,423
A*B*C	-0,19	-0,095	0,1551	0,603
Pt		0,0317	0,2971	0,925

T crítico = 2.63, alfa = 0.05, GL = 10

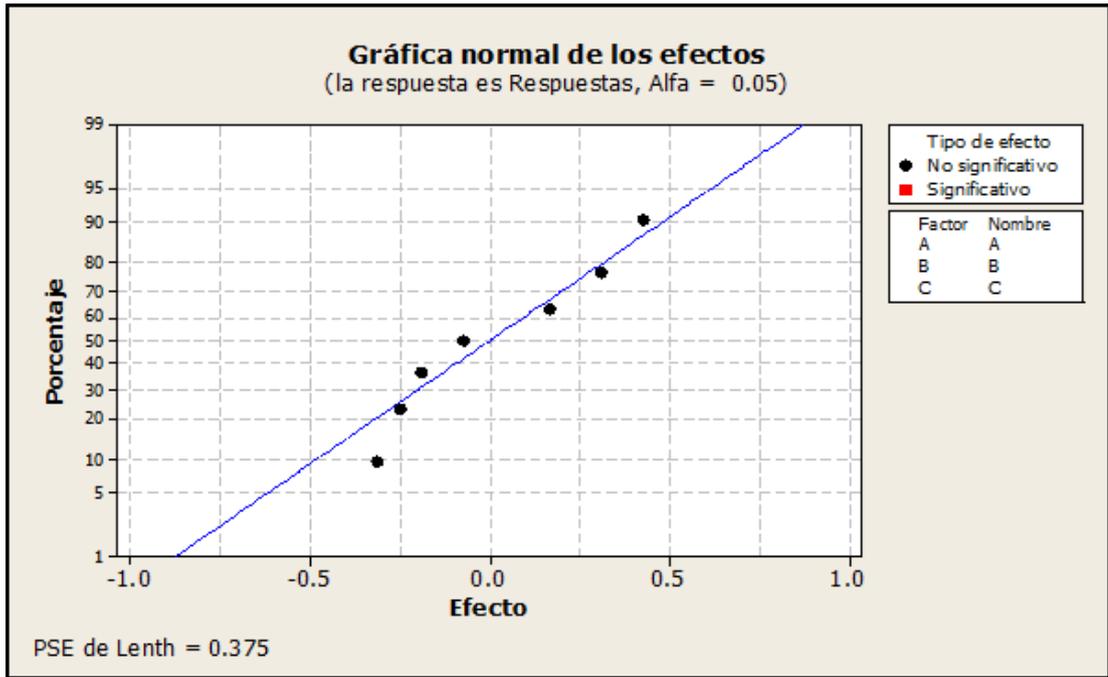


Figura 5. Gráfica normal de efectos estandarizados. Yogurt bebible.

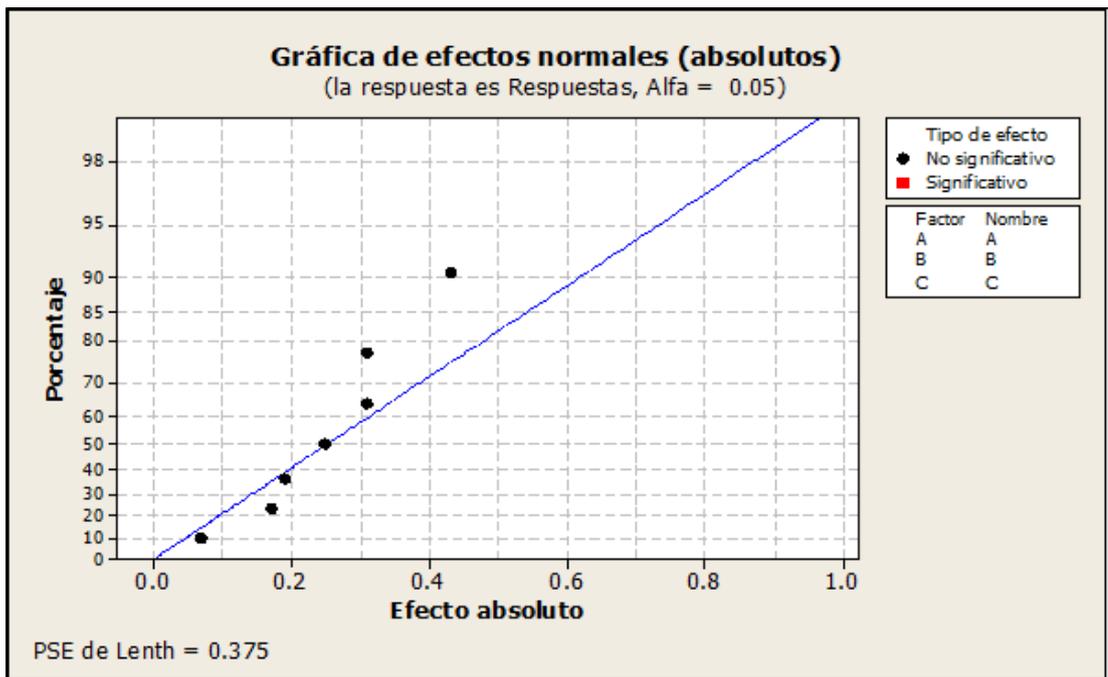


Figura 6. Gráfica de efectos normales (absolutos). Yogurt bebible.

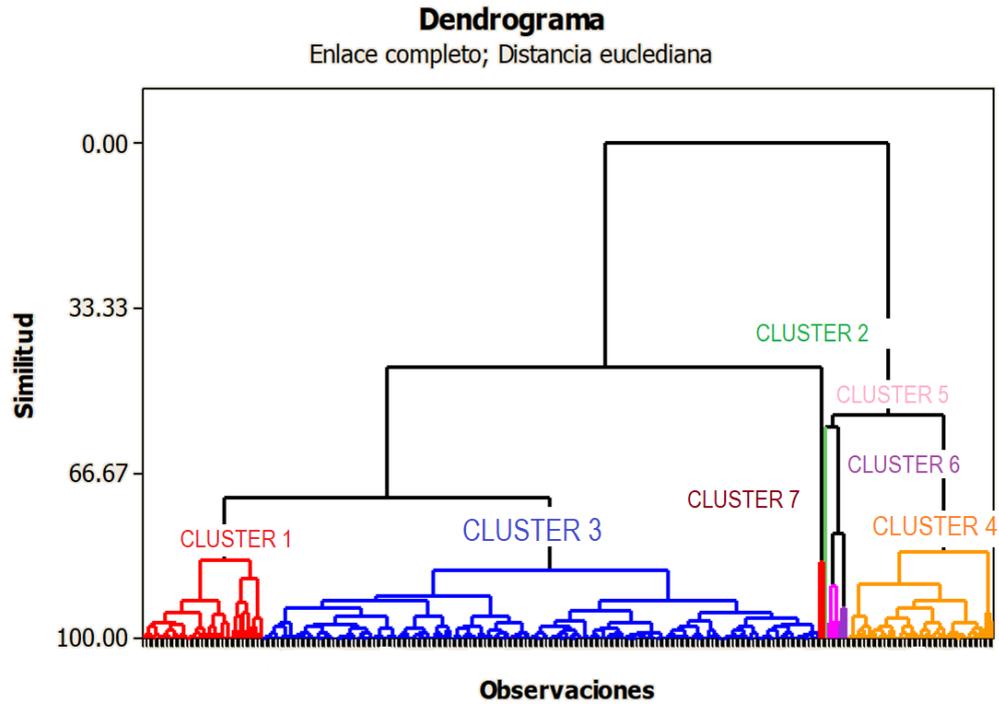
## **2.2. Determinación de la viscosidad.**

Para la obtención de datos se utilizó un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos FUNGILAB modelo EVO-Expert y se analizaron 98 muestras (incluidas las dos obtenidas mediante el diseño experimental) se aplicó tres temperaturas diferentes a cada muestra 21°C, 25°C y 30°C. La velocidad programada en el equipo fue la misma para todas las pruebas 0-20 rpm y con un tiempo de 600 segundos.

## **2.3. Análisis multivariante.**

Con la recopilación de datos generados por el viscosímetro rotacional se aplicó el modelo matemático de Ostwald de Waele, el cual relaciona el índice de consistencia y el índice de comportamiento generando finalmente un dendrograma el cual se divide en 7 clusters agrupados por la similitud de comportamiento reológico que tienen las muestras dentro de cada uno de estos.

Para una mayor comprensión se clasificaron los datos dando un color a cada clúster para así tener clara la cantidad de muestras dentro de cada uno,. El clúster 1 representado por el color rojo exhibe un 14% del total de muestras analizadas, el clúster 2 con color verde representa el 0,34% del total, el clúster 3 muestra color azul es el 65,6% siendo el más significativo al indicar que la mayoría de muestras analizadas presentaron el mismo comportamiento, el clúster 4 muestra 17,1% exhibiendo color naranja, el clúster 5 con color rosa representa el 1,37% del total de muestras, el clúster 6 exhibe el 1% siendo morado y finalmente el clúster 7 representa el 0,6% del total de muestras y expresa con el color rojo oscuro. Esta expresión se explica en la figura 8.



**Figura 7. Dendrograma obtenido de análisis del total de muestras.**

#### 2.4. Agrupación de muestras por clúster.



**Figura 8. Clasificación del clúster por su color.**

Los clústers en los cuales se encuentran las muestras de batidos y bebidas de yogurt son 1, 2, 3 y 4 teniendo representado en porcentaje de la siguiente manera: el clúster número 1 es el 11.8%, el número 2 el 1.96%, el clúster número 3 el 70.1% y el clúster número 4 se muestra con un 15.7% del total de muestras de este grupo. Existe la variación de comportamiento de 4 de las 17 muestras analizadas pasando de un comportamiento a otro con la variación de la temperatura.

**Tabla 6. Agrupación por clúster de muestras de bebidas y batidos de yogurt.**

	BATIDOS Y BEBIDAS DE YOGURT	CLUSTER		
		T1(21°C)	T2(25°C)	T3(30°C)
1	Batido de yogurt toni frush frutilla banano	1	1	2
2	Bebida de yogurt finesse alpina frutos rojos	3	1	1
3	Bebida de yogurt finesse alpina clásico	1	3	1
4	Bebida de yogurt kiosko duo guanábana mora	3	3	3
5	Bebida de yogurt kiosko duo piña coco	3	3	3
6	Bebida de yogurt kiosko durazno	3	3	3
7	Bebida de yogurt kiosko frutilla	3	3	3
8	Bebida de yogurt la original fresa	3	4	4
9	Bebida de yogurt la original mora	4	4	4
10	Bebida de yogurt lenutrit mora	3	3	3
11	Bebida de yogurt regeneris tamarindo	3	3	3
12	Bebida de yogurt rey rocker durazno	3	3	3
13	Bebida de yogurt rey rocker fresa	4	4	4
14	Bebida de yogurt rey rocker guanábana	3	3	3
15	Bebida de yogurt rey rocker mora	3	3	3
16	Bebida de yogurt reyogurt mix mora	3	3	3
17	bebida de yogurt chivi drink coco y piña	3	3	3

En lo referido a postres lácteos y postres de yogurt tenemos un grupo de 8 muestras analizadas a las tres temperaturas establecidas en donde se muestra la mayoría ubicadas dentro del clúster 3 con un 62.50% de pruebas, en cuanto al clúster 1 el 20.83% y el clúster 4 con el 16.66% del total de este grupo. Seis de las siete muestras presentaron cambios en su comportamiento con variación de temperatura.

**Tabla 7. Agrupación por clúster de muestras de postres lácteos y postres de yogurt.**

	POSTRES	CLUSTER		
		T1(21°C)	T2(25°C)	T3(30°C)
1	postre lácteo diseño experimental	3	3	4
2	postre alpinette cereza	4	4	4
3	postre de yogurt chivería frutilla	1	3	3
4	postre de yogurt chivería mora	3	1	3
5	postre lacteo floralp frutos rojos	3	3	3
6	postre lacteo floralp mocca	1	3	3
7	postre de yogurt yogourmet chocolate	1	3	3
8	postre de yogurt yogourmet durazno	1	3	3

La muestra de kumis analizada presentó el comportamiento exhibido dentro del clúster número 3.

**Tabla 8. Agrupación por clúster de muestras de kumis presentes en el mercado.**

	KUMIS	CLUSTER		
		T1(21°C)	T2(25°C)	T3(30°C)
1	kumis alpine	3	3	3

El grupo más grande analizado es el de yogurt, dado que este producto es más consumido en nuestro medio, en donde se presenta de igual manera en su mayoría el comportamiento del clúster número 3 y de los clústers 1 y 4. Se analizaron 52 muestras de yogurt con la variación de las tres temperaturas obteniendo como resultado que la mayoría de estas tuvieron un comportamiento que se encuentra dentro del clúster 3 con un 97.57% del total, también se encuentran dentro de los clústers 1 con 0.83% y 4 con 1.60%. Existe una variación de comportamiento en 20 de las 52 muestras analizadas en las diferentes temperaturas.

**Tabla 9. Agrupación por clúster de muestras de yogurt.**

	YOGURT	CLUSTER		
		T1(21°C)	T2(25°C)	T3(30°C)
1	yogurt bloup durazno	3	3	3
2	yogurt bloup fresa	3	3	3
3	yogurt bloup mora	3	3	3
4	yogurt bonyurt froot loops	3	3	3
5	yogurt bonyurt mini	3	3	4
6	yogurt bonyurt neon	3	3	3
7	yogurt carchi guanábana	3	3	4
8	yogurt chivería clásico	3	3	4
9	yogurt chivería con granola	3	3	3
10	yogurt chivería light frutilla	3	3	4
11	yogurt chivería light mora	3	3	4
12	yogurt chivería light vainilla	3	3	3
13	yogurt chivería mango	3	3	4
14	yogurt chivería mora	3	3	3
15	yogurt chivi gur fiesta	3	3	3
16	yogurt crimy mora	1	3	3
17	yogurt d la hacienda durazno	3	3	3
18	yogurt d la hacienda frutilla	3	3	4
19	yogurt dulac fresa	3	3	4
20	yogurt el pinar frutilla	3	4	4
21	yogurt guerrero mora	3	3	4
22	yogurt kiosko trozos de fruta frutilla	3	3	3
23	yogurt miraflores guanábana mix	1	1	3
24	yogurt miraflores fresa	3	3	3
25	yogurt miraflores kids Durazno	1	1	1
26	yogurt miraflores kids fresa	1	1	1
27	yogurt miraflores kids mora	3	3	3
28	yogurt miraflores mora	1	3	3
29	yogurt natural ali baba	3	3	3

30	yogurt natural el pino	3	3	3
31	yogurt nutri Durazno	3	3	3
32	yogurt nutri fresa	3	3	3
33	yogurt nutri mora	1	3	3
34	yogurt parmalat fresa	3	3	3
35	yogurt parmalat mora	3	3	3
36	yogurt pura crema mora	3	3	3
37	yogurt regeneris trozos de fruta frutilla	3	3	3
38	yogurt regeneris frutilla	3	3	3
39	yogurt reyogurt Durazno	4	3	3
40	yogurt reyogurt frutilla	4	4	4
41	yogurt reyogurt guanábana	4	4	4
42	yogurt reyogurt mora	4	4	4
43	yogurt reyogurt natural	3	3	3
44	yogurt supermaxi mora	3	4	4
45	yogurt toni light Durazno	3	3	3
46	yogurt toni light frutilla	3	3	4
47	yogurt toni light vainilla	1	3	3
48	yogurt toni mix frutilla	1	3	3
49	yogurt toni mix vainilla	3	3	3
50	yogurt toni mora	3	3	4
51	yogurt vita life chía	3	3	3
52	yogurt vita life quinua	3	3	3

Se analizaron nueve muestras de yogurt artesanal en donde 62.5% se encuentran dentro del comportamiento del clúster 3, 37.5% dentro del clúster 4. Se muestra una variación de comportamiento de 4 de las 8 muestras en los cambios de temperatura.

**Tabla 10. Agrupación por clúster de muestras de yogurt artesanal.**

	YOGURT ARTESANAL	CLUSTER		
		T1(21°C)	T2(25°C)	T3(30°C)
1	yogurt bebible diseño experimental	3	3	4
2	yogurt deleyt maracuyá	4	3	4
3	yogurt el yogurt mora	4	4	4
4	yogurt giko frutilla	3	3	3
5	yogurt la hacienda suiza banano	3	3	3
6	yogurt la hacienda suiza mora	3	4	4
7	yogurt la hacienda suiza naranjilla	3	4	3
8	yogurt muuu naranjilla artesanal	3	3	3

Se analizaron once muestras de yogurt tipo griego en donde el comportamiento difiere de los grupos anteriores dado que se inclina más al clúster 1 con el 51.51%, también se encuentran

dentro del clúster 3 un 9.09%, en el clúster 4 un 12.12% el clúster 5 con 12.12%, el clúster 6 con 9.09% y el clúster 7 con 6.06% de comportamiento dentro de cada clúster. Ocho de las once muestras presentaron variación de comportamiento dentro de las tres temperaturas analizadas.

**Tabla 11. Agrupación por clúster de muestras de yogurt griego.**

	YOGURT GRIEGO	T1(21°C)	T2(25°C)	T3(30°C)
1	yogurt griego athentikos coconut	1	1	1
2	yogurt griego athentikos natural	1	1	3
3	yogurt griego athentikos strawberry	1	1	1
4	yogurt griego chivería con fruta	1	1	1
5	yogurt griego kaaru frutilla	1	1	4
6	yogurt griego kaaru limón	1	4	3
7	yogurt griego kaaru mora	1	5	1
8	yogurt griego toni frutilla	4	6	6
9	yogurt griego toni mango chía	1	7	7
10	yogurt griego toni natural	5	6	3
11	yogurt griego giko	5	5	4

En la figura se expresa el porcentaje de datos de cada marca analizada presente en cada uno de los clústers.

MARCA	PORCENTAJE						
	CLUSTER 1 (%)	CLUSTER 2 (%)	CLUSTER 3 (%)	CLUSTER 4 (%)	CLUSTER 5 (%)	CLUSTER 6 (%)	CLUSTER 7 (%)
TONI	19,44	2,78	52,78	8,33	2,78	8,33	5,56
ALPINA	19,05	0,00	61,90	19,05	0,00	0,00	0,00
KIOSKO	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LA ORIGINAL	0,00	0,00	16,67	83,33	0,00	0,00	0,00
LENUTRIT	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REGENERIS	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REY LECHE	0,00	0,00	56,67	43,33	0,00	0,00	0,00
CHIVERÍA	13,89	0,00	75,00	11,11	0,00	0,00	0,00
FLORALP	16,67	0,00	83,33	0,00	0,00	0,00	0,00
DISEÑO EXPERIMENTAL	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	0,00	0,00
DELEYT	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	0,00	0,00
EL YOGUR (ARTESANAL)	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
GIKO (ARTESANAL)	0,00	0,00	50,00	16,67	33,33	0,00	0,00
LA HACIENDA SUIZA (ARTESANAL)	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	0,00	0,00
MUUU (ARTESANAL)	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BLUUP	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CARCHI	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	0,00	0,00
CRIMY	33,33	0,00	66,67	0,00	0,00	0,00	0,00
LA HACIENDA	0,00	0,00	83,33	16,67	0,00	0,00	0,00
DULAC	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	0,00	0,00
EL PINAR	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	0,00	0,00
GUERRERO	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	0,00	0,00
MIRAFLORES	50,00	0,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ALI BABA	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EL PINO	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NUTRI	11,11	0,00	88,89	0,00	0,00	0,00	0,00
PARMALAT	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PURA CREMA	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUPERMAXI	0,00	0,00	33,33	66,67	0,00	0,00	0,00
VITA LECHE	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ATHENTIKOS	88,89	0,00	11,11	0,00	0,00	0,00	0,00
KAARU	55,56	0,00	11,11	22,22	11,11	0,00	0,00

**Figura 9. Expresión en porcentaje de la cantidad de datos dentro de cada clúster expresado por marcas**

### CAPÍTULO 3

#### DISCUSIÓN

El comportamiento observado en los batidos y bebidas de yogurt se interpreta relacionando como aditivo característico del clúster 3 a la gelatina, teniendo también la presencia de almidón modificado en unos casos y una mezcla de pectina y carragenina en otros. El clúster 4, presenta gelatina y carragenina, observando que su comportamiento es similar al clúster 3, razón por la cual la muestra 8, con el aumento de temperatura, pasa del cluster 3 al cluster 4. En el caso de la muestra 1, 2 y 3 se muestra el comportamiento del clúster 1, que es el característico de los yogures griegos, por lo que se asume que su comportamiento se debe a la presencia de aditivos mejoradores de textura.

Los postres de yogurt y postres lácteos presentan también una variación de comportamiento entre el clúster 3 y 4 mostrándose como normal en relación a la generalidad de muestras. Se observa en algunos casos comportamiento dentro del clúster 1 lo cual como se mencionó antes se debería a la presencia de aditivos mejoradores de textura. Dentro de este grupo se encuentra el postre desarrollado dentro del diseño experimental.

La muestra de kumis analizada se comporta de una manera dentro de lo normal en relación al resto al estar dentro del clúster 3.

El grupo más grande analizado es el de yogurt siendo en su mayoría un comportamiento dentro del clúster 3 y 4 lo que se puede determinar cómo normal salvo ciertos casos que actúan dentro del clúster 1, esto puede deberse a aditivos mejoradores de textura.

Las marcas de yogurt artesanal incluida la desarrollada en el diseño experimental presentan un comportamiento dentro del clúster 3 en su mayoría con lo que podemos decir que actúan como un yogurt normal.

En cuanto al grupo de yogurt griego se observó que la marca kaaru que no declara aditivos se comporta en función de la temperatura al variar de forma no predecible por lo que se asume que esto se debe a la composición propia de cada sabor de yogurt. El comportamiento de los yogures tipo griegos es el descrito por el clúster 1 lo cual hace referencia a la consistencia fuerte de este tipo de yogurt. En el caso de la marca Toni su característica reológica se debe a la presencia de aditivos al no encajar dentro del comportamiento general de los yogures de este tipo. El yogurt griego Giko al ser artesanal no presenta información de ingredientes, por lo cual se puede indicar que su comportamiento no es comparable con el resto de marcas, y se podría asumir que este sería el comportamiento ideal de un yogurt griego.

## **CAPÍTULO 4**

### **CONCLUSIÓN**

La determinación de la viscosidad ha permitido identificar la similitud de comportamientos de diferentes tipos de bebidas lácteas fermentadas siendo las características del clúster 1 las representativas de los yogures de consistencia fuerte como son los yogures tipo griego. Los clústers 3 y 4 son los que definen las características de las bebidas de yogurt, yogurt bebible y yogurt artesanal. Esto se corroboró con los resultados desarrollados en el diseño experimental donde se replicó una formulación industrial en condiciones de laboratorio para control de los datos obtenidos con un nivel de confianza de 95%.

En el estudio realizado no se pudo determinar la influencia específica de los aditivos modificadores de textura, debido a que los clústers determinados no pudieron agrupar las bebidas lácteas fermentadas en función la presencia de aditivos.

En base a lo dicho en el párrafo anterior no es posible a este nivel desarrollar modelos matemáticos confiables que permitan predecir comportamientos reológicos de yogures como instrumento de control de calidad debido a la gran variabilidad de datos donde no existe la rigurosidad requerida para la modelación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, J. (2015). *Caracterización de las principales propiedades reológicas de los quesos prensados frescos y amasados expedidos en la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Barón Núñez, M. (2010). *Desarrollo de bebidas lácteas funcionales con énfasis en ácido linoléico conjugado (CLA)*. Bogotá: Universidad de Colombia.
- Barón, J. (2002). *Las regiones económicas de Colombia: Un análisis de clusters*. Cartagena de Indias.
- Bello, J. M. (2004). *Productos lácteos: la ruta de la metamorfosis*. México: UNAM.
- Bustamante, O. (1999). *VISCOSIDAD DE SUSPENSIONES MINERALES BAJO UNA APROXIMACION TERMOMECHANICA*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- CODEX. (2013). *NORMA GENERAL PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS*. OMS.
- Enriquez, D. (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*. Trujillo.
- Expósito, C. (2011). *Clustering jerárquico*. Universidad de La Laguna.
- FAO. (2011). *Leche y productos lácteos. Segunda edición*. ProQuest Ebook Central.
- Ferré, J. (2011). *EL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO 2<sup>k</sup>*. Universidad Rovira i Virgili (Tarragona).
- Gaona, G. (2017). *ANÁLISIS SENSORIAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES ACEPTABLES DE COLORANTE Y SABORIZANTE EN EL YOGURT*. Machala.
- Gaviria, P. (2009). *UTILIZACIÓN DE HIDROCOLOIDES EN BEBIDA LÁCTEA TIPO KUMIS*. Medellín.
- González, R. (2014). *Efecto de la Microencapsulación sobre las Propiedades Reológicas y Fisicoquímicas del Yogurt Blando*. SCIELO.
- González, R., Pérez, J., & Urbina, N. (2014). *Efecto de la Microencapsulación sobre las Propiedades Reológicas y Fisicoquímicas del Yogurt Blando*. Scielo.
- Martínez, Y. (2010). *Determinación de la viscosidad*. Perú.
- Méndez, A., Pérez, L., & Paniagua, A. (2010). *Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette)*. México D.F.
- Molina, I. (2009). *COMPARACIÓN DE TRES ESTABILIZANTES COMERCIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE YOGURT DE LECHE DESCREMADA DE VACA*. Guatemala.
- Monsalve, A. (2010). *REOLOGÍA, LA CIENCIA QUE ESTUDIA EL MOVIMIENTO DE FLUIDOS*. Santiago de Chile: Remetallica.
- Muñoz, G., & Pazmiño, C. (2011). *Elaboración de un Yogurt Tipo II de Textura Aflanada Sabor a Banano "Buena Fuente de Fibra"*. Quito.
- Naranjo, N., & Vera, E. (2012). *COMBINACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS, PARA EMPLEAR COMO REGULADOR DE PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS EN LA OBTENCIÓN DE YOGURT TIPO II Y III*. Riobamba.

- Ospina, M., Sepulveda, J., & Restrepo, D. (2012). INFLUENCIA DE GOMA XANTAN Y GOMA GUAR SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LECHE SABORIZADA CON COCOA. *Scielo*.
- Pagura, J., Hernández, L., & Dianda, D. (2015). *Diseño de Experimentos Diseños factoriales 2 k*.
- Pinto Rodriguez, J. (2013). *Yogures, leches fermentadas y pastas untables: elaboración de leches de consumo y productos lácteos (UF1284)*. IC Editorial.
- Quintáns, L. (2008). *Reología de productos alimentarios*. Universidad Santiago de Compostela .
- Ramírez, J. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos*. Cali: ReCiTeLa.
- Ramirez, J. (2011). *Bacterias lácticas: Importancia en los alimentos y sus efectos en la salud*. Nayarit.
- Rao, M. A. (1999). *Rheology of Fluid and Semisolid Foods Principles and Applications*. New York: Editorial Services: Kathy Litzenberg.
- Reyes, M., & Ruiz Vélez, J. (2015). Propiedades Fisicoquímicas y de Flujo de un Yogur Asentado Enriquecido con Microcápsulas que Contienen Ácidos Grasos Omega 3. *Scielo*.
- Reyes, M., & Vélez Ruiz, J. (2015). Propiedades Fisicoquímicas y de Flujo de un Yogur Asentado Enriquecido con Microcápsulas que Contienen Ácidos Grasos Omega 3. *Scielo*.
- Rojas, O., Briceño, M., & Avedaño, J. (2012). *Fundamentos de reología*. Mérida.
- Romero, R. (2004). *Productos lácteos. Tecnología*. Barcelona: EDICIONS UPC.
- Sancho, F. (2015). *Clustering por K-medias*. NetLogo.
- Steffe, J. F. (1996). *RHEOLOGICAL METHODS IN FOOD PROCESS ENGINEERING*. Michigan.
- Villanueva, R. (2015). Probióticos: una alternativa para la industria de alimentos Probiotics: An Alternative for the Food Industry. *Ingeniería Industrial*, 265-275.

## ANEXOS

## NORMA INEN

REQUISITOS	ENTERA		SEMIDESCREMADA		DESCREMADA		METODO DE ENSAYO
	Min %	Max %	Min %	Max %	Min %	Max %	
Contenido de grasa	2,5	---	1,0	<2,5	---	<1,0	NTE INEN 12
Proteína, % m/m En yogur, kéfir, kumis, leche cultivada	2,7	--	2,7	--	2,7	--	NTE INEN 16
Alcohol etílico, % m/v En kéfir suave En kéfir fuerte Kumis	0,5 -- 0,5	1,5 3,0 ---	0,5 -- 0,5	1,5 3,0 ---	0,5 -- 0,5	1,5 3,0 ---	NTE INEN 379
Presencia de adulterantes <sup>1)</sup>	Negativo		Negativo		Negativo		NTE INEN 1500
Grasa Vegetal	Negativo		Negativo		Negativo		NTE INEN 1500
Suero de Leche	Negativo		Negativo		Negativo		NTE INEN 2401

1) Adulterantes: Harina y almidones (excepto los almidones modificados) soluciones salinas, suero de leche, grasas vegetales.

**Anexo 1. NORMA INEN 2395. Especificaciones de las leches fermentadas.****Análisis sensorial.**

Fecha:

Muestra:

Por favor, sírvase completar la siguiente ficha de análisis sensorial de yogurt indicando según su criterio las características a continuación indicadas. Se muestra 5 como excelente, 4 muy agradable, 3 agradable, 2 regular y 1 desagradable.

	1	2	3	4	5	Recomendaciones
APARIENCIA						
TEXTURA						
DULZOR						
ACIDEZ						
REGUSTO						
AROMA AFRUTADO						

**Anexo 2. Formato de fichas de análisis sensorial.**

**MUESTRAS ANALIZADAS**

	<b>BATIDOS Y BEBIDAS DE YOGURT</b>
1	Batido de yogurt toni frush frutilla banano
2	Bebida de yogurt finesse alpina frutos rojos
3	Bebida de yogurt finesse alpina clásico
4	Bebida de yogurt kiosko duo guanábana mora
5	Bebida de yogurt kiosko duo piña coco
6	Bebida de yogurt kiosko durazno
7	Bebida de yogurt kiosko frutilla
8	Bebida de yogurt la original fresa
9	Bebida de yogurt la original mora
10	Bebida de yogurt lenutrit mora
11	Bebida de yogurt regeneris tamarindo
12	Bebida de yogurt rey rocker durazno
13	Bebida de yogurt rey rocker fresa
14	Bebida de yogurt rey rocker guanábana
15	Bebida de yogurt rey rocker mora
16	Bebida de yogurt reyogurt mix mora
17	bebida de yogurt chivi drink coco y piña
	<b>POSTRES</b>
18	postre lácteo diseño experimental
19	postre alpinette cereza
20	postre de yogurt chivería frutilla
21	postre de yogurt chivería mora
22	postre lacteo floralp frutos rojos
23	postre lacteo floralp mocca
24	postre de yogurt yogourmet chocolate
25	postre de yogurt yogourmet durazno
	<b>KUMIS</b>
26	kumis alpina
	<b>YOGURT</b>
27	yogurt bluur durazno
28	yogurt bluur fresa
29	yogurt bluur mora
30	yogurt bonyurt froot loops
31	yogurt bonyurt mini
32	yogurt bonyurt neon
33	yogurt carchi guanábana
34	yogurt chivería clásico
35	yogurt chivería con granola
36	yogurt chivería light frutilla
37	yogurt chivería light mora
38	yogurt chivería light vainilla
39	yogurt chivería mango
40	yogurt chivería mora

41	yogurt chivi gur fiesta
42	yogurt crimy mora
43	yogurt d la hacienda durazno
44	yogurt d la hacienda frutilla
45	yogurt dulac fresa
46	yogurt el pinar frutilla
47	yogurt guerrero mora
48	yogurt kiosko trozos de fruta frutilla
49	yogurt miraflores guanábana mix
50	yogurt miraflores fresa
51	yogurt miraflores kids Durazno
52	yogurt miraflores kids fresa
53	yogurt miraflores kids mora
54	yogurt miraflores mora
55	yogurt natural ali baba
56	yogurt natural el pino
57	yogurt nutri Durazno
58	yogurt nutri fresa
59	yogurt nutri mora
60	yogurt parmalat fresa
61	yogurt parmalat mora
62	yogurt pura crema mora
63	yogurt regeneris trozos de fruta frutilla
64	yogurt regeneris frutilla
65	yogurt reyogurt Durazno
66	yogurt reyogurt frutilla
67	yogurt reyogurt guanábana
68	yogurt reyogurt mora
69	yogurt reyogurt natural
70	yogurt supermaxi mora
71	yogurt toni light Durazno
72	yogurt toni light frutilla
73	yogurt toni light vainilla
74	yogurt toni mix frutilla
75	yogurt toni mix vainilla
76	yogurt toni mora
77	yogurt vita life chía
78	yogurt vita life quinua
	YOGURT ARTESANAL
79	yogurt bebible diseño experimental
80	yogurt deleyt maracuyá
81	yogurt el yogurt mora
82	yogurt giko frutilla
83	yogurt la hacienda suiza banano
84	yogurt la hacienda suiza mora
85	yogurt la hacienda suiza naranjilla
86	yogurt muuu naranjilla artisanal
	YOGURT GRIEGO
87	yogurt griego athentikos coconut

88	yogurt griego athentikos natural
89	yogurt griego athentikos strawberry
90	yogurt griego chivería con fruta
91	yogurt griego kaaru frutilla
92	yogurt griego kaaru limón
93	yogurt griego kaaru mora
94	yogurt griego toni frutilla
95	yogurt griego toni mango chía
96	yogurt griego toni natural
97	yogurt griego giko

**Anexo 3. LISTA DE MUESTRAS ANALIZADAS.**