

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

De todos los productos lácteos acidificados, el yogurt es el más conocido y popular en casi todo el mundo. La consistencia, sabor y aroma varía de un lugar a otro, en algunas partes, el yogurt se produce bajo la forma de un producto viscoso, mientras que en otros países presenta la apariencia de un gel blanco. (Adriazola, 2014)

Según un estudio de mercado realizado por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas “AEMP”, PIL Andina ocupa el primer lugar de la producción de yogurt en Bolivia con cerca del 60%; de acuerdo a datos, proporcionados por Andil, la producción anual de yogurt en Bolivia llega a los 50 millones de litros anuales. El 29% de la producción según la AEMP, corresponden a Delizia. El otro 6% de producción, lo tiene Soalpro, 3% Delicruz S.A., 1% Ipaz, 1% Pil Tarija y el resto de las empresas no llega a representar menos del 1% de la producción. (Estremadoiro, 2014)

En la ciudad de Tarija la empresa “PIL Tarija” actualmente realiza la producción de la nueva línea de productos, yogures con frutas y verduras (Mix), el cual representa una variedad innovadora en el mercado tomando en cuenta características fundamentales de nutrición y salud, con muy buena acogida en el mercado. (PIL TARIJA, 2016)

La Empresa Pública Productiva de lácteos “EBA” en Tarija, desarrolla la producción de yogurt bebible, frutado y probiótico; para subsidios y desayunos escolares (EBA, 2019)

“En cuanto a la industrias que elaboran yogurt aflanado en Bolivia se encuentra Clarabella en Santa Cruz, produce yogurt aflanado endulzado con stevia” (El Deber, 2016).

“A sí mismo, se tiene la empresa PIL Tarija que elabora yogurt aflanado en distintos sabores con buena acogida de la población tarijeña” (PIL TARIJA, 2019).

En Bolivia se están impulsando iniciativas para el cultivo agroecológico y aprovechamiento de la achira a través de capacitaciones a agricultores de los Yungas de Cochabamba (Cantón Tablas Monte y Cantón San José) y La Paz (comunidades de

San Juan de la Miel e Inca Pampa) en técnicas de cultivo y producción de almidón de achira. (PROINPA, 2010)

Se recomienda la aplicación del almidón de achira; por su textura suave, de color blanco y brillante; además de tener el mejor comportamiento en cuanto a viscosidad, en comparación con los demás almidones. Por otro lado, tiene el potencial de convertirse en un muy buen material de compresión directa debido al tamaño de su partícula; adicionalmente, su elevado contenido natural de amilasa (50%), lo hace un excelente candidato para todo tipo de modificaciones químicas en la industria alimentaria. (Acosta & Blanco, 2013)

“El almidón de achira tiene alto contenido de amilasa, la cual es una proteína importante. Este almidón es una excelente fuente de nutrientes para niños, ancianos y personas que sufren problemas digestivos” (Suquilanda, 2010).

## **1.2 Justificación**

- En el presente trabajo de elaboración de yogurt afluado a nivel experimental, se realizó con el fin de incorporar en su dosificación almidón de achira, con el objetivo de aprovechar sus bondades nutricionales y sus propiedades funcionales, como mejorar la absorción intestinal de minerales, aumentar la saciedad y mejorar la concentración del colesterol y triglicéridos de la sangre; recomendado para niños, ancianos y personas con problemas digestivos.
- En el mercado local, no existe un yogurt afluado que incorpore almidón de achira en su dosificación por el poco conocimiento de sus propiedades como agente espesante, estabilizante de gel y como elemento ligante; por tales características se pretende incorporar el almidón de achira en la producción de yogurt afluado con el fin de darle un valor agregado.
- El trabajo de investigación surge como alternativa de coadyuvar el consumo de almidón de achira a la población en general por el mayor contenido de amilosa y

amilo-pectina en su composición; y aprovechar estas propiedades en la industria alimentaria.

- Finalmente, otra de las razones para la incorporación del almidón de achira en la elaboración de yogurt aflanado es de aprovechar este producto nativo, valorizando la producción de este almidón de la localidad de Emborosu de la provincia Arce del departamento de Tarija.

### **1.3 Objetivos**

Los objetivos planteados con respecto al desarrollo del presente trabajo son los siguientes:

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Elaborar yogurt aflanado con almidón de achira "*Canna edulis ker*", mediante el proceso de fermentación láctica; con el fin de obtener un producto de calidad nutricional para la población tarijeña.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la leche entera, con el fin de conocer su composición química.
- Determinar los análisis fisicoquímicos del almidón de achira, con el fin de conocer su composición química.
- Aplicar evaluación sensorial para definir la dosificación de los insumos en la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira, con el fin de obtener una muestra ideal.
- Aplicar diseño experimental con la finalidad de establecer las variables que influyen en la etapa de fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira.
- Determinar la viscosidad de las muestras de yogurt aflanado con almidón de achira, con el fin de establecer su consistencia.

- Realizar el control de los parámetros acidez, pH y sólidos solubles en la etapa de fermentación y del producto final durante el almacenamiento, con el fin de efectuar un control de calidad.
- Aplicar evaluación sensorial de comparación de muestras de yogurt aflanado con almidón de achira con la muestra referencia, con el fin de evidenciar la preferencia de las muestras.
- Determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológico del producto final yogurt aflanado con almidón de achira, con la finalidad de establecer su composición nutricional.
- Realizar el balance de materia y energía, con el fin de conocer las corrientes de entrada y salida del proceso, como también conocer el rendimiento a nivel experimental.

#### **1.4 Variables independiente y dependiente**

Las variables generales del presente trabajo; fueron identificadas de acuerdo al proceso y tecnología de productos lácteos fermentados, las cuales se indican a continuación:

- Variable independiente: “*Proceso de fermentación láctica*”; “es la propiedad o fenómeno denominado como tema central de estudio” (Hernández & col., 2015).
- Variable dependiente: “*Yogurt aflanado con almidón de achira*”; “es la variable que depende y refleja los cambios realizados experimentalmente sobre la variable independiente” (Hernández, 2015).

#### **1.5 Planteamiento del problema**

Actualmente la industria de alimentos local no le ha dado valor agregado del almidón de achira (*Canna edulis ker*); el cual podría ser aprovechado por sus características y propiedades como gelificante; debido que es un almidón nativo extraído de rizomas cultivados en suelos sin uso de agroquímicos y para valorizar la producción local de

almidón de achira; mediante su incorporación en el proceso de fermentación láctica de la leche para la elaboración de yogurt aflanado.

Así mismo, en el mercado local de la ciudad de Tarija no existe el producto yogurt aflanado que incorpore almidón de achira en su composición, debido a que no se tiene mucha información y conocimiento de sus propiedades nutrimentales y funcionales para la salud, el cual puede ser aprovechado en la elaboración de yogurt aflanado y que podrá tener beneficios nutricionales para el ser humano.

### **1.6 Formulación del problema**

¿Cuál será el proceso de fermentación láctica, a ser aplicado para elaborar yogurt aflanado con almidón de achira y obtener un producto de calidad nutricional para la población tarijeña?

### **1.7 Formulación de la hipótesis**

El proceso de fermentación láctica a ser aplicado para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira, permitirá obtener un producto nutricional para la población tarijeña.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1 Origen del yogurt

El origen del yogur se sitúa en Turquía, aunque también hay quien lo ubica en los Balcanes, Bulgaria o Asia Central. Su nombre tiene origen en el término búlgaro: "jaurt". Su proceso de elaboración es un arte muy antiguo que data de hace miles de años, siendo su consumo posiblemente anterior al comienzo de la agricultura, la domesticación de vacas, ovejas y cabras. Según se supone, los primeros consumidores de yogur fueron pueblos nómadas de las comunidades asiáticas, quienes fueron desarrollando las primitivas técnicas de producción, el calor y el contacto de la leche con la piel de cabra propiciaban la multiplicación de las bacterias ácidas que fermentaban la leche hasta convertirla en una masa semi sólida y coagulada. (Tamime & Robinson, 1991)

Durante la primera mitad del siglo XX, el bacteriólogo ruso de apellido Metvhnikoff relaciono la buena salud y la longevidad de los campesinos de los Balcanes con el consumo de un producto fermentado, a partir de leche, llamado yahourth. Después de la segunda guerra mundial, la tecnología del yogurt tuvo un avance muy significativo. Actualmente, el consumo del producto está muy difundido a escala mundial (Hernández, 2003).

## 2.2 Definición de yogurt

El yogurt 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 delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus salivaris* subsp. *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 ingredientes y aditivos indicados en esta norma. (IBNORCA, 2013)

De acuerdo al Codex Alimentarius, el yogurt es leche (usualmente de vaca) que ha sido fermentada con *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* bajo condiciones definidas de tiempo y temperatura. Cada especie de bacterias estimula el



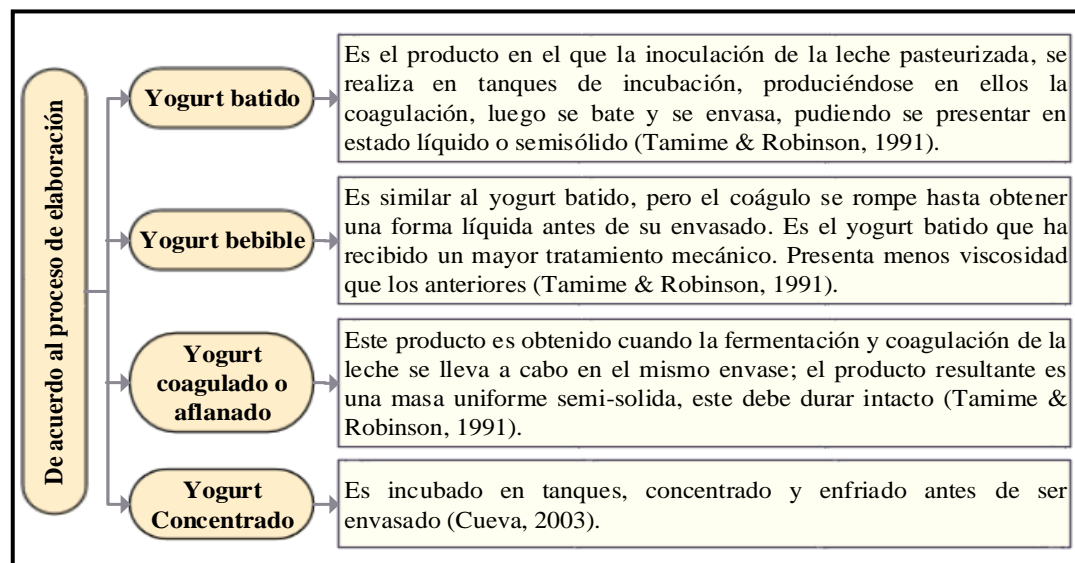
crecimiento de la otra, y los productos de su metabolismo combinado dan como resultado la textura cremosa característica y el ligero sabor ácido. También el yogurt contiene otros aditivos tales como sólidos lácteos, azúcares, frutas. (García, 2015)

### 2.3 Clasificación del yogurt

Según la Norma Bolivianas NB 915: 2013 del IBNORCA el yogurt se clasifica:

#### 2.3.1 De acuerdo al proceso de elaboración

En la figura 2.1, se muestra la clasificación del yogurt de acuerdo al proceso de elaboración.

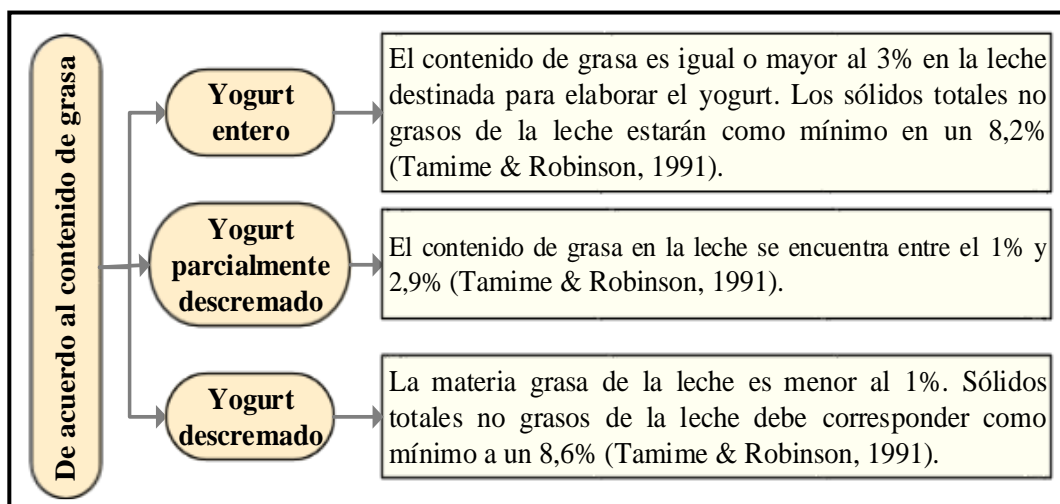


**Fuente:** IBNORCA, 2013

**Figura 2.1** Clasificación del yogurt de acuerdo al proceso de elaboración

#### 2.3.2 De acuerdo al contenido de grasa

En la figura 2.2, se muestra la clasificación del yogurt de acuerdo al contenido de grasa.

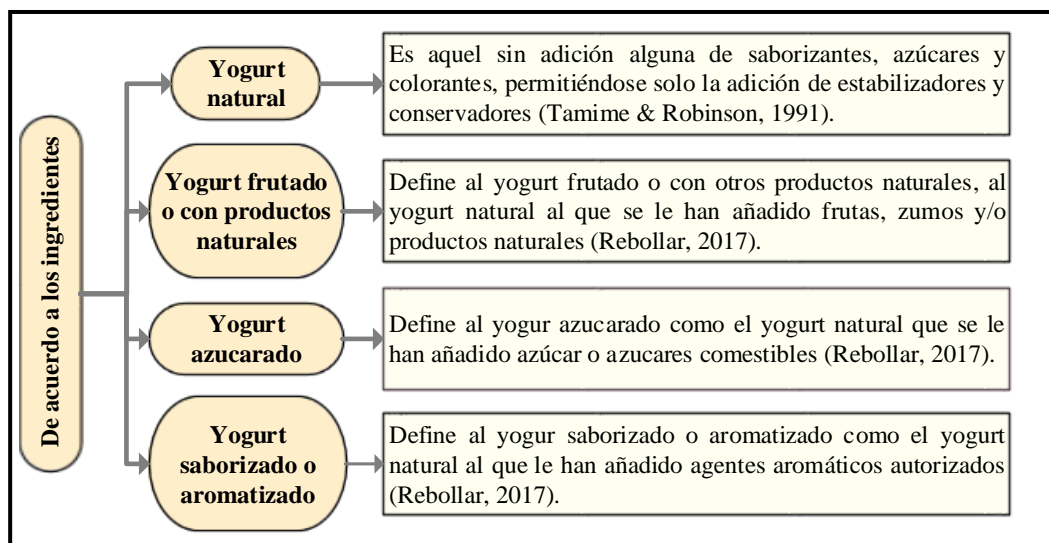


Fuente: IBNORCA, 2013

**Figura 2.2** Clasificación del yogurt de acuerdo al contenido de grasa

### 2.3.3 De acuerdo a los ingredientes

En la figura 2.3, se muestra la clasificación del yogurt de acuerdo a los ingredientes.



Fuente: IBNORCA, 2013

**Figura 2.3** Clasificación del yogurt de acuerdo a los ingredientes

## 2.4 Composición nutricional del yogurt natural

El creciente interés por la salud de los consumidores es el motivo por el que se le ubica a este alimento como uno de los alimentos nutritivos más importantes de hoy en día, ya que es una fuente importante de vitaminas, proteínas y minerales (Arévalo, 2015).

Los productos lácteos fermentados sean o no que contienen microorganismos vivos como el yogurt, asemejan mucho su valor nutricional a la de la leche de la cual provienen, pero influirá también el resto de materia prima utilizada y la manera en que este sea producido. Esto nos va a determinar el contenido de proteínas, vitaminas, grasa y minerales presentes en el yogurt, se ha determinado que el yogurt contiene más proteínas del grupo B especialmente (tiamina y riboflavina) que la leche, pero se considera que tiene menos vitamina A. (Arévalo, 2015)

#### **2.4.1 Carbohidratos**

El principal hidrato de carbono que contiene la leche es la lactosa, la cual en la elaboración de yogurt debido a su fermentación este disacárido se transforma en dos monosacáridos simples del galactosa y glucosa que a la vez se transforma en ácido láctico, quedando así reducida la cantidad de lactosa presente en el yogur, lo cual implica un beneficio para personas que sufren intolerancia a la lactosa. Esto se cumple siempre y cuando el proceso no incluya leche en polvo, ya que este componente incrementaría el contenido de lactosa y ya no se podría aludir la ventaja mencionada en el consumo de estos alimentos, aunque las enzimas de beta-galactosidasas contenidas por las bacterias del yogur contribuyen a la degradación y digestión de parte de esta lactosa añadida. (Arévalo, 2015)

#### **2.4.2 Proteínas**

Con la acidificación que se produce en la leche por la formación de lactosa en ácido láctico, esto conduce a una desnaturalización y coagulación de las proteínas, lo que ocasiona un aumento en la biodisponibilidad de las proteínas e incrementa la digestibilidad y el rendimiento asimilativo de la misma (Arévalo, 2015).

#### **2.4.3 Grasa**

La grasa en los lácteos fermentados se reduce en relación a la leche entera con la que es elaborado, debido a que para su elaboración deben ser parcialmente desnatados, aunque en su comercialización se indiquen como enteros. Un yogurt entero tiene aproximadamente 2,5% de grasa mientras que la leche tiene una media

aproximadamente del 3.5% de grasa. La fermentación en el yogur da lugar a una ligera producción de ácidos grasos libres, que hace de este producto mucho más fácil digerible (Arévalo, 2015).

#### **2.4.4 Vitaminas**

El contenido vitamínico tendrá diferentes variaciones, las cuales dependerán de los microorganismos o bacterias ya que algunas vitaminas son consumidas por estas bacterias, mientras que otras son activamente sintetizadas, esto dependerá también de las condiciones de fermentación, de la cantidad de cultivo utilizados y de los procesos de fortificación y elaboración. En general en el yogurt se produce un incremento vitamínico especialmente de aquellas vitaminas del grupo B como son la tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina, ácido fólico, cianocobalamina y de vitamina D, sin embargo, se da una disminución de vitamina B12, B6, C, y ácido fólico debido a las temperaturas que se necesitan para la elaboración (Arévalo, 2015).

#### **2.4.5 Minerales**

El calcio es por excelencia el componente más identificativo de la leche corriente y por lo tanto lo será también del yogurt, un envase de yogurt de tamaño individual puede llegar a cubrir el 25% de las necesidades de calcio diarias de la dieta, para un adulto. (Arévalo, 2015)

En la tabla 2.1, se muestra la composición de macronutrientes en diferentes tipos de yogurt en 100 g de muestra.

**Tabla 2.1***Composición de macronutrientes de diferentes tipos de yogurt*

Tipos de yogurt	Macronutrientes					
	Hidratos (g)	Proteínas (g)	Grasas (g)	Colesterol (mg)	Calcio (mg)	Potasio (mg)
Entero natural	5,50	3,96	2,60	10,20	142,00	280,00
Desnatado natural	6,30	4,25	0,32	1,00	140,00	187,00
Entero natural azucarado	13,70	3,50	1,90	4,00	131,00	157,00
Desnatado natural azucarado	13,80	4,50	0,30	1,00	149,00	191,00
Entero de sabores	15,60	5,36	3,40	11,00	121,00	240,00
Desnatado de sabores	16,73	3,80	0,90	4,00	150,00	190,00
Entero con frutas	14,30	3,83	2,30	10,70	109,10	210,00
Desnatado con frutas	13,10	3,83	0,20	0,30	112,13	210,00
Griego	5,39	6,40	10,20	11,00	150,00	150,00
Líquido natural azucarado	11,60	3,00	1,20	Trazas	115,00	145,00

**Fuente:** Gottau, 2017

## 2.5 Propiedades físico-químicas del yogurt natural

Las propiedades fisicoquímicas del yogurt están basadas en las propiedades de la leche y los sucesivos cambios que ocurren durante la fermentación láctica.

### 2.5.1 Acidez

El porcentaje de ácido láctico adecuado es de suma importancia para la producción de yogurt de alta calidad con sabor, cuerpo y textura propia, que exhiba el mínimo porcentaje de sinéresis durante el almacenamiento. El aumento de la acidez en yogurt por la producción de ácido láctico ocasiona la coagulación de la caseína y el sabor en el producto. (Rebollar, 2017)

### 2.5.2 pH

El pH es la medida de acidez o alcalinidad de una sustancia (es la medida de iones de hidrogeno). Los valores de pH se muestran en una escala que cubre de 1-14, donde arriba del valor 7 se encuentran los productos básicos y por debajo son ácidos, como es el caso del yogurt. El pH del yogurt es uno del parámetro importante debido a que

durante su fabricación se busca disminuir el pH de la leche, y llegar a un pH óptimo del yogurt en donde esto le va favorecer para que obtenga un olor y sabor característico. (Rebollar, 2017)

### **2.5.3 Viscosidad**

“La viscosidad del yogurt está dada por su resistencia a fluir, la viscosidad crece con la disminución de la temperatura, incremento del contenido graso, homogeneización, fermentación acida y el envejecimiento o maduración y se expresa en centipoises (cp)” (Rebollar, 2017, pág. 12).

La coagulación por acidificación para la preparación de leche ácida, se logra mediante el agregado cultivos de bacterias lácticas; estos microorganismos transforman la lactosa en ácido láctico cuando el pH se acerca al punto isoeléctrico de la caseína aumenta la viscosidad, por lo que se obtiene fácilmente productos más espesos, con textura de gel, tal como el yogurt las condiciones necesarias para la formación del gel, establece un delicado balance en la precipitación. (Martínez, 2016)

### **2.5.4 Proteólisis**

Los lácteos fermentados tienen una característica añadida, debido a que durante la fermentación se da lugar a la ruptura parcial de la proteína por el mecanismo llamado proteólisis con el cual se originan fragmentos de proteínas que son los péptidos y los polipéptidos e incluso aminoácidos libres. (Arévalo, 2015)

### **2.5.5 Sinéresis**

Es la expulsión o separación del lacto suero debido a la concentración del gel esto afecta a la calidad de los productos lácteos. Es debido al ordenamiento de la red molecular de la caseína posteriormente de la formación del gel. Los principales elementos del proceso asociados con la sinéresis son: rápida acidificación, alta temperatura de incubación, largo tratamiento térmico, bajo contenido de sólidos, baja producción de ácidos y uso de renina. (Rebollar, 2017)

## 2.6 Beneficios del yogurt para el ser humano y prevención de enfermedades

Según (Nagendra, 2017), se indican en las diferentes aplicaciones y beneficios que presenta el yogurt en nuestro cuerpo en base a los resultados de diferentes estudios:

- **Diabetes tipo 2:** El consumo regular de productos lácteos puede reducir el riesgo de diabetes tipo 2. Se cree que el contenido de calcio y magnesio es responsable del efecto.
- **Obesidad:** La salud intestinal y la obesidad parecen estar relacionadas. Después de que las personas obesas pierden peso, su microflora intestinal vuelve a la de las personas delgadas. Los estudios han demostrado que el consumo de productos lácteos como parte de una dieta controlada en calorías se asocia con una mayor pérdida de peso, especialmente del abdomen.
- **Beneficios gastrointestinales:** Se sabe desde hace algún tiempo que los sujetos con deficiencia de lactosa toleran la lactosa en el yogurt mejor que la lactosa en la leche. Parte del contenido de lactosa de la leche se metaboliza durante la fermentación; la mayoría de la lactosa permanece intacta y se descompone en glucosa y galactosa fácilmente absorbibles por la enzima lactasa constituyente del cultivo.
- **Digestión general y mejora nutricional:** El yogurt y otros productos lácteos fermentados también son ricos en vitaminas A, B2, B1, B6 y B12. También se ha demostrado que las bacterias del ácido láctico poseen la capacidad de sintetizar vitaminas B, como el ácido fólico durante la fermentación. La cantidad de vitamina A, que es una vitamina liposoluble, depende del nivel de grasa en el producto. En general, el contenido de vitaminas en el yogurt es mayor que en la leche. El yogurt es más fácil de digerir porque ayuda a la digestión de lactosa y proteínas. En comparación con la leche, el contenido de ácido láctico y el contenido de vitamina B del yogurt ayudan aún más en la digestión general.
- **Reducción de enfermedades cardiometabólicas y colesterol sérico:** El consumo de yogurt como parte de una dieta saludable puede ser beneficioso en la prevención

de enfermedades cardiovasculares. Debido a la biodisponibilidad de calcio y potasio inherentes, el yogur previene la presión arterial alta. El yogurt reduce el riesgo de síndrome metabólico y enfermedades relacionadas como la diabetes. Así, la leche fermentada por las cepas de lactis pueden ser coadyuvantes en la reducción de la hipertensión y la hiperlipidemia y pueden usarse como un alimento funcional para una mejor salud cardiovascular.

- **Estructura ósea e integridad:** La leche es una de las fuentes más ricas de calcio, y la absorción de calcio de la leche es mejor que la de otros productos. Aunque la fermentación no altera el contenido mineral, la utilización de algunos minerales (como calcio, fósforo y hierro) en el cuerpo humano se utiliza mejor a partir de la leche fermentada en comparación con la leche sola. Se sugirió que el ácido láctico desempeñara un papel en el contenido de calcio en el hueso y en la resistencia del hueso; también incluyen la prevención de la osteoporosis y la regulación del metabolismo óseo.
- **Anticarcinogénesis:** Varios productos fermentados poseen propiedades anticancerígenas. La administración de productos fermentados ejercer efectos beneficiosos contra el cáncer. También se ha demostrado el efecto antiproliferativo de la leche fermentada en el crecimiento de la línea de cáncer de mama humano. Estas actividades anticancerígenas del yogurt se atribuyen a la estimulación de las funciones inmunes del cuerpo como una mejoría en la población de microflora intestinal; implica un mejor equilibrio de los microorganismos intestinales, la permeabilidad intestinal normalizada al retrasar la absorción de toxinas y fortalecer los mecanismos de barrera intestinal.
- **Efectos inmuno-moduladores:** La bacteria iniciadora utilizada para la producción de yogurt puede sobrevivir en el tracto gastrointestinal y ha sido detectada en las heces. Esto indica que las bacterias iniciadoras pueden contribuir a las funciones de promoción de la salud ya que el tracto gastrointestinal incluye aproximadamente el 80% de nuestras llamadas productoras de anticuerpos y forma una parte vital del sistema de defensa.



- **Efecto antialérgico:** Se informó que las alteraciones en billones de habitantes del tracto gastrointestinal (microbiota) influyen en la respuesta alérgica a los alimentos. Han identificado una comunidad bacteriana específica que protege contra la sensibilización mediante la regulación de la permeabilidad epitelial de los alérgenos alimentarios.
- **Control y reducción de la duración del resfriado común:** Una revisión reciente respalda que el consumo de probióticos de yogurt disminuye la duración del resfriado común y las infecciones del tracto respiratorio superior.
- **Producción de vitaminas y control de organismos patógenos:** Los probióticos también producen algunas de las vitaminas B, incluyendo niacina, piridoxina, ácido fólico y biotina. Además, producen sustancias antibacterianas que tienen propiedades antimicrobianas contra las bacterias que causan enfermedades.

## **2.7 Química de la fermentación láctica**

Las bacterias (Lactobacilos, Estreptococos), al desarrollarse en la leche utilizan la lactosa (azúcar de leche) como fuente de energía. La lactosa, al fermentar, produce energía que es aprovechada por las bacterias y el ácido láctico es eliminado. La coagulación de la leche (cuajada) resulta de la precipitación de las proteínas de la leche, y ocurre por el descenso de pH (acidificación) debido a la presencia de ácido láctico. Este proceso es la base para la obtención del yogurt (Ecu Red, 2018).

### **2.7.1 Organismos iniciadores**

Las bacterias del yogurt (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrückii* sub. *bulgaricus*) se desarrollan conjuntamente en la leche, la producción de ácido láctico es mucho más rápida que si se desarrollan cada una por separado, ello es debido a que entre ellas se establece un fenómeno de mutua estimulación del crecimiento. Esta asociación es la que se conoce como simbiosis o protocooperación. (Romero & Mestres, 2004)

En la figura 2.4, se indican las principales características de los microorganismos encargados de la fermentación láctica.

<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lactobacillus bulgaris, es una bacteria láctea-homo-fermentativa.</li> <li>• Se desarrolla muy bien entre 42 y 45°C, produce disminución del pH, puede producir hasta un 2,7% de ácido láctico.</li> <li>• Es proteolítica, produce hidrolasas que hidrolizan las proteínas. Esta es la razón por la que se liberan aminoácidos como la valina, la cual tiene interés porque favorece el desarrollo del Streptococcus thermophilus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los Streptococcus son un género de bacterias gram-positivas y catalasa negativos. Observadas bajo el microscopio, se ve que Streptococcus thermophilus crece formando pares (diplococos) o cadenas medianamente largas de células esféricas o elipsoides.</li> <li>• El Streptococcus termophilus, es una bacteria homo-fermentativa termoresistente, produce ácido láctico como principal producto de la fermentación de la leche.</li> <li>• Se desarrolla a 37-40°C, pero puede resistir 50°C e incluso 65°C por media hora. Tiene menor poder de acidificación. En el yogurt viven en perfecta simbiosis.</li> </ul>

**Fuente:** Meléndez, 2014

**Figura 2.4** Caracterización de los microorganismos encargados de la fermentación láctica

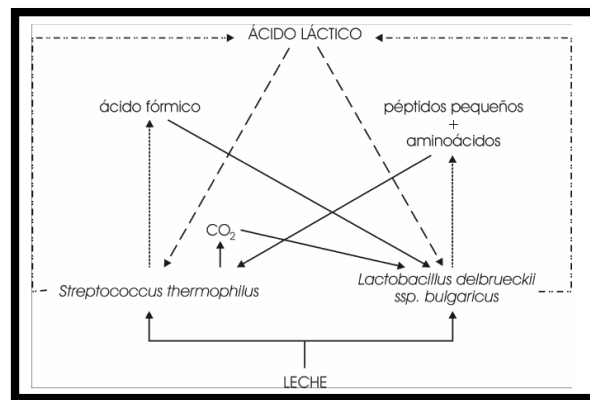
### 2.7.2 Microbiología de la bioquímica del proceso de fermentación del yogurt

Los microorganismos encargados de convertir la leche en yogurt (streptococcus thermophilus y lactobacillus bulgaricus) son bacterias Gram positivas, y producen ácido láctico como metabolito principal (son homofermentativas). Estos microorganismos crecen en forma óptima en un intervalo de temperaturas entre los 40 y 45 °C; su metabolismo se detiene a temperatura por debajo de los 10°C. Bulgaricus es capaz de fermentar fructosa, galactosa, glucosa y lactosa, mientras S. thermophilus puede fermentar glucosa, fructosa, galactosa y sacarosa. (Hernández & col., 2003)

Además del ácido láctico, durante el metabolismo de los microorganismos, se producen algunos metabolitos que son los responsables del aroma característico del yogurt; entre ellos, los más importantes son: el acetaldehído, el diacetilo y la acetoina. También, se obtienen ácidos volátiles, tales como: el formico, el acético, el propionico, el butírico, el isovalerico y el caproico, los cuales sinérgicamente con los metabolitos mencionados originan el aroma característico del yogurt. El acetaldehído es la sustancia responsable

del aroma que se encuentra en mayor concentración en el yogurt (entre 23 a 55 ppm). (Hernández & col., 2003)

Los dos microorganismos actúan en forma sinérgica: las bacterias se estimulan mutuamente. Ambas especies pueden crecer en un pH bajo, pero *S. thermophilus* crece mejor al inicio de la fermentación cuando el pH es alto. El pH disminuye durante la fermentación, por la producción de ácido láctico, hasta alcanzar un valor inferior a 5,5. La acidez, el consumo de oxígeno y la liberación de sustancias volátiles que produce este microorganismo, crean las condiciones ideales para que se desarrolle *L. bulgaricus*. Otro efecto positivo de la disminución del pH es la inhibición de los microorganismos que no crecen en ambientes tan ácidos, como la salmonella, el *staphylococcus aureus* y otros microorganismos que pueden deteriorar el producto. (Hernández & col., 2003)



**Fuente:** Romero & Mestres, 2004

**Figura 2.5** Producción de ácido láctico por las bacterias del yogurt

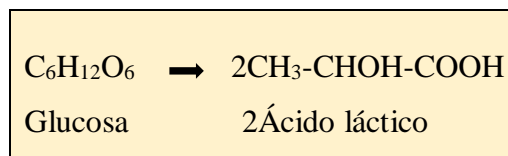
### ➤ Producción del ácido láctico

Desde el punto de vista bioquímico, la lactosa es hidrolizada dentro de la célula bacteriana por una lactasa, en unidades de glucosa y galactosa. La glucosa es metabolizada por la vía de Embden-Meyerhof, hasta ácido pirúvico, el cual se convierte en ácido láctico por la acción de la deshidrogenasa láctica presente en ambos microorganismos. Por otro lado, ambas bacterias carecen de la enzima alcohol

deshidrogenasa, por lo que son incapaces de transformar el acetaldehído en etanol. (Hernández & col., 2003)

Se realiza por todas las bacterias lácticas la fermentación más importante de la leche provocando la coagulación acida al llegar a un pH de 4,6 que es el punto isoeléctrico de la caseína (Bedolla, 2004).

En la figura 2.6, se muestra la transformación de la glucosa en ácido láctico usando la ruta de Embden-Meyerhoff-Pamas (EMP).



**Fuente:** Bedolla, 2004

**Figura 2.6** Transformación de la glucosa en ácido láctico

Tamime & Robinson (2000) menciona: No importa qué tipo de yogurt se esté produciendo, las reacciones bioquímicas responsables de la formación del gel o coágulo son exactamente las mismas. Por lo tanto, las únicas diferencias reales entre el yogurt preparado y el agitado son las propiedades reológicas del coágulo, ya que en el primer tipo la leche no se altera durante el período de incubación y el resultado el gel tiene la forma de una masa semisólida continua, mientras que los yogures agitados son, por el contrario, el resultado de romper la estructura del gel al final del período de incubación y antes del enfriamiento y el posterior procesamiento.

### **2.7.3 Efectos de procesamiento sobre las propiedades físicas del gel**

Es evidente que el método de fortificación de los sólidos lácteos puede afectar la firmeza y sinéresis del gel de yogurt. De manera similar, estas mismas propiedades están influenciadas por la presión de homogeneización utilizada. sin embargo, aunque los cambios fisicoquímicos en el componente proteico de la leche podrían considerarse como uno de los mejores cambios que influyen en la calidad del yogurt fabricado, no se debe pasar por alto el papel del cultivo iniciador en relación con el desarrollo de ácidos. (Tammine Robinson, 2000)

En la leche calentada, el gel se forma a medida que las micelas de caseína aumentan gradualmente de tamaño y forman una matriz de cadena. Este comportamiento da como resultado una distribución uniforme de la proteína en todo el yogurt y la fase acuosa se inmoviliza dentro de la red; el coágulo resultante es firme y menos susceptible a la sinéresis. Por otro lado, las micelas de caseína en la leche sin calentar forman agregados o grupos en los que la proteína se distribuye de manera desigual y esta heterogeneidad perjudica la inmovilización del agua; el coágulo es mucho más débil, en un 50% en comparación con el coágulo anterior. En general, cuanto más grandes son los poros en la matriz de proteínas, más fácil es la separación del suero, mientras que la mayor resistencia a la sinéresis a pH 3,85 refleja una mayor rigidez del gel en comparación con el yogurt que tenía un pH de 4,5. (Tammine Robinson, 2000)


Romero & Mestres (2018) afirma “Durante la fermentación se forma el gel. El proceso es el mismo para los dos tipos de yogurt. Las modificaciones físicas y químicas de la leche durante el proceso son las siguientes”:

- Los microorganismos del yogurt metabolizan la lactosa presente en la leche para cubrir sus necesidades energéticas, produciendo ácido láctico y otros compuestos.
- La producción gradual de ácido láctico provoca la solubilización del fosfato cálcico y del citrato asociados a la micela, lo que conduce a la desestabilización de las micelas de caseína, que, dependiendo de la intensidad del tratamiento térmico. Durante el intervalo de pH entre 6,6-5,3, el tamaño de las micelas se mantiene constante, pero en el intervalo 5,3-4,6 o inferior el tamaño de las micelas va decreciendo gradualmente.
- A medida que se va produciendo ácido láctico y el pH se aproxima al punto isoeléctrico de las caseínas: 4,6-4,7, se van neutralizando las cargas negativas de las micelas de caseína, que se van aproximando y coalesciendo.
- Cuando se llega al pH del punto isoeléctrico, las caseínas junto con las proteínas del lactosuero desnaturalizadas forman el gel constituido por una red de estructura

regular que atrapa en su interior el resto de los componentes de la leche, incluyendo el agua.

## 2.8 Planta achira (*Canna edulis ker*)

En la figura 2.7, se muestran los datos taxonómicos de la planta achira, su origen y la distribución geográfica.

<b>Canna edulis ker (achira)</b>	
<b>Nombre científico:</b> <i>Canna edulis ker</i> .(Caicedo et al., 2003)	
<b>Nombre común:</b> Achira, achera, sagú.(Caicedo et al., 2003)	
<b>Origen:</b> “La achira es de origen Sudamericano, hallazgos arqueológicos en el Perú demuestran que su cultivo data de 2.500 años A.C.”.(Suquilanda, 2018)	
<b>Dispersión geográfica:</b> “Los Incas la cultivaron hace once siglos. Se especula que Colombia sería el centro de dispersión. La achira existe en toda la América tropical; siendo cultivada en Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia, India, Asia, Polinesia, y África”. (Suquilanda, 2018)	

**Fuente:** Caicedo et al.,2003

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 2.7** Taxonomía de la planta achira

### 2.8.1 Almidón de achira



**Fuente:** Caicedo et al.,2003

**Figura 2.8** Rizoma de achira

El almidón de achira (*Canna Edulis Ker*), es extraído de los tubérculos de las plantaciones de achira, generalmente en las zonas de economía campesina. Contiene gran variedad de minerales como fósforo, sodio, potasio, hierro y calcio, siendo los tres primeros los que predominan en su composición. Los gránulos del almidón de achira son los más grandes con respecto a su diámetro (30 a 100  $\mu\text{m}$ ), por lo que es mucho más

tolerable a altas temperaturas como la temperatura de esterilización. Tiene mejores propiedades fisicoquímicas y es mucho más resistente a procesos fuertes como los procesos industriales. (Andino, 2008)

El almidón de achira es el principal componente del rizoma, se ha utilizado desde la antigüedad en América del Sur para la preparación de coladas y actualmente se produce comercialmente en diferentes regiones del mundo. Estudios preliminares del almidón de *Canna edulis ker*, muestran algunas propiedades interesantes, como buenas propiedades reológicas, por ejemplo, se ha reportado alta viscosidad para almidón de achira comparado con almidón de maíz, papa y yuca, lo que indica que el almidón de achira tiene alta capacidad de formar y mantener geles estables. (Yaruro, 2018)

Este almidón también ha ganado interés debido a su alto contenido de amilosa y gran tamaño de sus gránulos, que se relacionan directamente con la firmeza y transparencia de sus geles. Esta revisión incluye el proceso de extracción, composición química, estructura, propiedades fisicoquímicas y aplicaciones del almidón de achira, reportados por diferentes autores. (Yaruro, 2018)

Por no utilizarse insecticidas para el manejo de plagas en el cultivo, se considera un producto orgánico. El ciclo de vida de este producto es de aproximadamente un año, en buenas condiciones de almacenamiento (Toro & col., 2009).

#### ➤ **Morfología y tamaño de gránulos**

Los rizomas de la planta achira (*Canna edulis ker*), produce los gránulos de almidón más grandes (30-100 micras de diámetro) de todas las especies vegetales conocidas (Maíz, trigo, yuca y papa entre 10-30 micras de diámetro); por esta razón es digerido fácilmente por el organismo y posee un alto grado de proteína; además de esto y como se mencionó anteriormente es resistente a la esterilización. El almidón de achira tiene mejores propiedades fisicoquímicas y resiste más a los procesos estresantes (propios de los procesos industriales) que los almidones provenientes de fuentes cereales tales como el de maíz y el de trigo. (Toro & col., 2009)

#### ➤ **Capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento**

El poder de hinchamiento y la solubilidad son indicativos de las fuerzas de unión asociativa dentro de las cadenas de almidón, y están relacionadas con el mayor tamaño de sus gránulos, donde el almidón de achira con tamaño de gránulo grande (45,4  $\mu\text{m}$ ).

Un alto poder de hinchamiento también se explica por el contenido de amilosa, dado que diferentes estudios han mostrado que el almidón de achira tiene menor capacidad de absorción de agua durante el calentamiento y por ende bajo poder de hinchamiento, debido al alto contenido de amilosa. La amilosa podría reforzar la red interna y restringir la capacidad de hinchamiento. (Yaruro, 2018)

➤ **Comportamiento reológico**

Las propiedades reológicas de los almidones de achira se han comparado con otros almidones. Por ejemplo, se ha reportado una viscosidad máxima del almidón de achira de 2930 mPa.s frente a almidón de arracacha (113 mPa.s). No obstante, la mayoría de estudios coinciden en que el almidón de achira tiene mejores propiedades reológicas que almidones de otras fuentes. En un informe, todos los parámetros arrojados en el análisis reológico fueron mayores para almidón de achira comparados con almidón de yuca y almidón de papa dulce. Altos valores de viscosidad máxima en almidón de *Canna edulis* nativo, pueden atribuirse a la presencia de gránulos con una amplia distribución de tamaño, que dan lugar a diversos grados de hinchamiento de los gránulos de almidón. En general, se ha informado que las propiedades reológicas de los almidones están influenciadas por el tamaño, la relación de amilosa/amilopectina y el poder de hinchamiento de los gránulos. (Yaruro, 2018)

El almidón de achira se clasifica como almidón de alto contenido de amilosa (25-45%) comparado con almidón de yuca, ñame, papa y trigo, para los cuales se ha reportado valores de amilosa de 17%, 25%, 23% y 15%, respectivamente. La presencia de altos niveles de amilosa influye en las propiedades reológicas del almidón, por ejemplo, se correlaciona bien con la capacidad formadora de geles altamente viscosos. (Yaruro, 2018)



➤ **Composición físico-química del almidón de achira**

En la tabla 2.2, se muestra la composición fisicoquímica del almidón de achira.

**Tabla 2.2**

*Composición físico-química y propiedades físicas del almidón de achira*

<b>Composición físicoquímica (%) y propiedades físicas</b>	
Amilosa	34,82
Amilopectina	65,18
Solidos totales	88,85
Humedad	11,15
Cenizas	0,26
Solidos totales	88,85
Humedad	11,15
Cenizas	0,26
Fosforo	0,04
Tamaño de granulo (um)	25,00-100,00
Viscosidad max. (mpa.s)	2930,00

**Fuente:** Quiroga, 2009

➤ **Propiedades del almidón de achira para la salud del ser humano**

En los sistemas agrícolas tradicionales de los Andes, las Raíces y tubérculos Andinos juegan un rol especial dentro de los sistemas de asociación y rotación con la papa; son de gran importancia económica y nutricional para la subsistencia de campesinos que habitan a grandes altitudes, donde el valor nutricional de estos cultivos constituye un complemento muy apreciado en la dieta andina. (Ribera, 2006)

Las Raíces y Tubérculos Andinos son fuentes importantes de energía, debido a su contenido de almidón, éste es un polímero de glucosa y constituye una fuente energética natural privilegiada para la alimentación de los seres vivos y principalmente del hombre. El almidón es después de la celulosa, la principal sustancia glucídica sintetizada por los vegetales superiores a partir de la energía solar. (Ribera, 2006)

“El almidón tiene alto contenido de amilasa, la cual es una proteína importante. Es una excelente fuente de nutrimentos para niños, ancianos y personas que sufren problemas digestivos” (Díaz & col., 2016).

El almidón sometido a tratamientos térmicos y a un proceso de refrigeración garantiza las siguientes propiedades beneficiosas en el ser humano: aumenta la saciedad y reduce el consumo de energía, incrementa la absorción de micronutrientes, mejora el índice glucémico, disminuye hasta el 30 % de la concentración de colesterol y triglicéridos en la sangre, apoya en la reducción de los lípidos en la sangre entre otros (Villarreal, 2018).

## **2.9 Materia prima e insumos para la elaboración de yogurt afluado con almidón de achira**

La materia prima e insumos para la elaboración del yogurt afluado con almidón de achira se muestran a continuación:

### **2.9.1 Leche entera**

#### **➤ Definición de la leche entera**

La leche es un líquido limpio y fresco, producto del ordeño higiénico, obtenido de la segregación las glándulas mamarias de vacas sanas exentas de calostro y sustancias neutralizantes, conservantes y libre de inhibidores. Sin ningún tipo de adición y extracción de sus componentes. Leche que no ha sido sometida a ningún tratamiento térmico. (IBNORCA, 2013)

#### **➤ Tratamiento térmico y transformación de la leche entera**

La leche se trata térmicamente antes de proceder a la inoculación de los cultivos. Ello se hace con el objeto de mejorar las propiedades de la leche como sustrato para las bacterias del cultivo industrial, asegurar que el coágulo del yogurt terminado sea firme y reducir el riesgo de separación de suero en el producto terminado. (Cueva, 2003)

La lactosa en la leche proporciona la fuente de energía para los organismos iniciadores de yogurt, pero la proteína juega un papel importante en la formación del gel, por lo tanto, la consistencia y viscosidad del producto es directamente proporcional al nivel de proteína presente en la leche (Mori, 2017).

➤ **Composición química, propiedades organolépticas y físico-químicas de la leche entera**

En la tabla 2.3, se muestra la composición química de la leche entera.

**Tabla 2.3**

*Composición de la leche entera*

Componentes	Composición (%)
Agua	85,00 - 87,00
Proteínas	3,00 - 4,00
Lípidos	3,00 - 6,00
Hidratos de carbono	4,00
Minerales	0,72

**Fuente:** IBNORCA, 2013

En la tabla 2.4, se muestra las propiedades organolépticas de la leche entera.

**Tabla 2.4**

*Propiedades organolépticas de la leche entera*

Propiedades	Características
Aspecto	Líquido homogéneo
Color	Blanco opaco o blanco cremoso
Olor	Característico
Sabor	Poco dulce agradable

**Fuente:** IBNORCA, 2013

En la tabla 2.5, se muestra las propiedades físico-químicas de la leche entera.

**Tabla 2.5**

*Propiedades físico-químicas de la leche entera*

Propiedades	Parámetro	Unidad
Acidez titulable	0,13 - 0,18	(%) ácido láctico
Densidad a 20°C	1,03	(g/ml)
Punto crioscópico	-0,51 - 0,54	(°C)
Prueba de alcohol	Negativo	-
PH a 20°C	6,60 - 6,80	-
Materia grasa	3,00	(%)
Sólidos no grasos	8,20	(%)

**Fuente:** IBNORCA, 2013

### 2.9.2 Insumos alimentarios en la elaboración del yogurt afluado con almidón de achira

Los insumos alimentarios necesarios para la elaboración de yogurt afluado con almidón de achira se detallan a continuación:

### **2.9.2.1 Edulcorante azúcar de caña**

Este carbohidrato es muy abundante en el reino vegetal y se conoce vulgarmente como “azúcar”. Su fórmula empírica es  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , el azúcar refinado se obtiene comercialmente a partir de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera. Se utiliza mucho la industria alimentaria como edulcorante. Es aconsejable Añadir el azúcar antes de proceder el tratamiento térmico, ya que así se garantiza la destrucción de la forma vegetativa de los microorganismos contaminantes, mohos y levaduras osmófilas e incluso algunos esporos. (Tamime & Robinson, 2000)

“La adición de más del 10 % de azúcar a la leche, antes del período de inoculación/incubación, tiene un efecto adverso sobre las condiciones de fermentación debido a que cambia la presión osmótica de la leche” (Cueva, 2003).

### **2.9.2.2 Cultivo lácteo prebióticos (*Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*)**

Los fermentos se añaden al producto y se les deja crecer en el bajo condiciones controladas. En el transcurso de la correspondiente fermentación, las bacterias producen sustancias que dan al producto fermentado sus propiedades características tales como acidez, (pH), sabor, aroma y consistencia (Zambrano, 2008).

La caída del pH, que se produce cuando las bacterias fermentan la lactosa y dan lugar a la producción da ácido láctico, tiene un efecto conservador sobre el producto, al mismo tiempo que mejora su valor nutritivo y su digestibilidad (Zambrano, 2008).

### **2.9.2.3 Aditivos alimentarios para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira**

Se entiende por aditivo alimentario cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o

sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características. (CODEX ALIMENTARIUS, 2019)

El estabilizante se denomina en algunos casos hidrocoloides y su acción en el yogurt incluye básicamente dos funciones: en primer lugar, una retención del agua y en el segundo lugar, favorecer un aumento de la viscosidad. Las moléculas de los estabilizantes son capaces de formar una red mediante enlaces entre las mismas y los distintos componentes de la leche, debido a la presencia de grupos cargados negativamente, como por ejemplo grupos carboxilo, o a la presencia de grupos capaces de secuestrar iones de calcio (Tamine & Robinson, 2000).

Según (Tamine & Robinson, 2000), dice “Estos estabilizantes se pueden añadir a la leche bien solos, bien como mezclas de varios de ellos, siendo esto último lo más frecuente ya que las preparaciones comerciales son una mezcla de diversos estabilizantes”. (pág.26)

La finalidad de mezclar varios estabilizantes es lograr la función específica conseguida o, en la mayor parte de los casos, obviar alguna de las propiedades limitante de un compuesto concreto. Por tanto, la elección de un determinado estabilizante depende de diversos factores incluyendo: Propiedades funcionales, efecto y/o modo de acción de compuesto elegido y la concentración óptima a utilizar. (Tamine & Robinson, 2000)

La concentración de estabilizante en el yogurt está limitada por la disposición legales (FAO/OMS, 1976) y/o los efectos secundarios de los mismos. Por ejemplo, puede dar lugar a un aspecto o palatabilidad indeseable. (Tamine & Robinson, 2000)

Según (Tamine & Robinson, 1991), las concentraciones de estabilizantes recomendadas para yogurt son:

**Tabla 2.6*****Concentraciones de estabilizantes recomendadas para yogurt***

<b>Estabilizantes</b>	<b>Concentración (%)</b>
Pectinas o almidones modificados	0,02 - 0,20
Agar-agar, goma de algarroba, goma de guar, alginato, gelatina o carragenatos	0,20 - 0,50
Para preparaciones de almidón	1,00 – 2,00

**Fuente:** Tamine y Robinson (1991)

Otro factor que condiciona la concentración de estabilizantes que puede ser añadida a la leche destinada a la elaboración de yogurt es el extracto seco total. Las concentraciones óptimas para una mezcla de gelatina gomas/vegetales son de: 0,50; 0,45; 0,40; 0,30; 0,25% para leches con extracto seco total de 12,50; 14,50; 16,50; 19,00 y 22,00% respectivamente. (Tamine & Robinson, 2000)

### **2.9.2.3.1 Estabilizante del gel almidón de achira**

#### **➤ Definición**

Estructuralmente el almidón está conformado por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina, estas dos moléculas tienen básicamente la misma estructura, pero tienen diferentes tipos de enlace, lo que provoca el arreglo espacial en forma helicoidal para el caso de la amilosa y de doble hélice en el caso de la amilopectina. La proporción relativa de amilosa y amilopectina varía de un almidón a otro. En general, los almidones contienen más amilopectina que amilosa, la estructura de la mayoría de los almidones está conformada por 20% de amilosa y 80% de amilopectina. La relación entre amilosa y amilopectina puede variar de acuerdo al origen botánico del almidón, el clima y tipo de suelo. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4) D-glucosídicos, los cuales constituyen un 99% de la molécula, mientras que el enlace  $\alpha$  (1-6) también puede estar presente en 1%. (Yaruro, 2018)

#### **➤ Comportamiento y aplicación del almidón de achira**

El almidón de achira tiene alto contenido de amilosa, la cual es una proteína, importante. El porcentaje de amilosa está íntimamente relacionado con la resistencia a la esterilización debido a la naturaleza cristalina de la amilosa donde solo hay

hinchazón a altas temperaturas. Por esta razón, el almidón de achira tiene alto porcentaje de amilosa resiste a la esterilización. Por ejemplo, la amilosa favorece la gelificación de sus pastas durante el enfriamiento. Por esta razón se dice que el almidón de achira está ratificando su alta resistencia a la esterilización en comparación con otros almidones. (Ribera, 2006)

La concentración de estabilizante y espesante de almidón que puede ser añadida a la leche destinada a la elaboración de yogurt, esta dependiente del extracto seco total del almidón de achira que es añadida, ya que influye en la concentración de los sólidos totales del producto final (Ribera, 2006).

#### **2.9.2.3.2 Estabilizante industrial (Gelatina neutra)**

La gelatina, proteína derivada del colágeno, es uno de los pocos estabilizantes no carbohidratos de más amplia utilización. Puesto que todos los estabilizantes y espesantes eficaces son hidrófilos y se dispersan en solución como los coloides, se han denominado hidrocoloides. Algunas funciones específicas de los hidrocoloides incluyen mejor estabilización de la textura, estabilización las emulsiones y espumas, también en la encapsulación de los sabores. (Samodaran & col., 2010)

La adición de gelatina a la leche durante la preparación del yogurt cambió la microestructura del producto por la formación de láminas planas o superficies que interactuaron con la matriz de caseína, encerrando gránulos de caseína en varias zonas. La gelatina parecía conectar los gránulos y cadenas de proteínas de la leche, y en consecuencia crean una estructura de red doble continua, bastante homogénea, sin extremos libres. (Nagendra, 2017)

La gelatina se usa a un nivel de 0,1-0,5%, dependiendo de la firmeza, y a un nivel de 0,3-0,5% para obtener una apariencia lisa y brillante en el yogurt refrigerado. La gelatina también es un buen estabilizador para el yogurt congelado. Si se agrega gelatina por encima del 0,35% (p/p), puede dar al yogurt una apariencia de grumos al agitar (Nagendra, 2017).

### 2.9.2.3.3 Conservantes (sorbato de potasio, Benzoato de sodio)

#### ➤ **Sorbato de potasio (E202)**

Se usan en < 0.30% en peso para inhibir el crecimiento de hongos y levaduras en los alimentos con un pH hasta de 6.5; su efectividad aumenta al reducir el pH, es decir, la forma sin disociar es la activa. Se emplean en quesos, encurtidos, jugos de frutas, pan, vino, pasteles, mermeladas y otros. No son tóxicos para el hombre ya que se metabolizan como cualquier otro ácido graso, por medio de reacciones de  $\beta$ -eliminación. (Badui, 2013)

Según (Badui, 2013), dice “El sorbato de potasio es la sal más usada para controlar hongos, aun cuando hay trabajos que muestran su efectividad contra Salmonella, S. aureus, Vibrio parahaemolyticus y C. botulinum” (pág. 512).

#### ➤ **Benzoato de sodio (E 211)**

Los benzoatos también se emplean en mezclas con sorbatos para reforzar su función. Tanto el ácido benzoico como sus sales son no tóxicos para el hombre cuando se ingieren en las concentraciones que normalmente se permiten y se usan en los alimentos (0,05 a 0,10% en peso), ya que se eliminan en la orina como ácido hipúrico (benzoil-glicina), al reaccionar con la glicina en una reacción de detoxificación. (Badui, 2013)



**CAPÍTULO III**  
**DISEÑO METODOLÓGICO**

### 3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del presente trabajo de investigación “Elaboración de yogurt afluado con almidón de achira”, se realizó en el Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A); dependiente de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

### 3.2 Descripción de equipos, instrumentos, materiales de laboratorio, utensilios de cocina y reactivos químicos de laboratorio

Durante la realización de la parte experimental, se utilizó diferentes equipos e instrumentos del Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A); como también materiales, utensilios de cocina y reactivos químicos descritos a continuación:

#### 3.2.1 Equipos de proceso

Los equipos utilizados en el presente trabajo de investigación se describen a continuación:

##### ➤ Licuadora mixer

Este equipo fue utilizado en la etapa de homogenización de la mezcla de la leche e insumos. Las especificaciones técnicas de la licuadora mixer, se indica en la figura 3.1.


Licuadora mixer	Especificaciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Marca:</b> PREMIER</li> <li>❖ <b>Modelo:</b> ED-215(BU)-2</li> <li>❖ <b>Voltaje:</b> AC220V 50/60 Hz</li> <li>❖ <b>Material:</b> Cuchillas en acero inoxidable</li> <li>❖ <b>Potencia:</b> 180 W</li> <li>❖ <b>Industria:</b> China</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.1** Especificaciones técnicas de la licuadora mixer

➤ **Cocina industrial**

Este equipo se utilizó como fuente de suministro de calor necesario para realizar la pasteurización de la leche. Las especificaciones técnicas de la cocina industrial, se indican en la figura 3.2.


Cocina industrial	Especificaciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Número de hornallas:</b> 2</li> <li>❖ <b>Consumo:</b> 1500Kcal/h</li> <li>❖ <b>Medidas:</b> 0,88 x 0,79 x 0,94 m</li> <li>❖ <b>Material:</b> Acero inoxidable</li> <li>❖ <b>Industria:</b> Bolivia</li> </ul>

**Fuente:** LTA, 2019

**Figura 3.2** Especificaciones técnicas de la cocina industrial

➤ **Termostato eléctrico (baño maría)**

Este equipo fue utilizado para el desarrollo de la etapa de fermentación e incubación. Las especificaciones técnicas del termostato se muestran en la figura 3.3.


Termostato	Especificaciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Industria:</b> Hungría</li> <li>❖ <b>Marca:</b> memmet</li> <li>❖ <b>Modelo:</b> 854 schwabach 770-331 W720</li> <li>❖ <b>Potencia conectada:</b> 220-1100 Wats</li> <li>❖ <b>Tiempo y temperatura máxima:</b> 12h-100°C</li> </ul>

**Fuente:** LTA, 2019

**Figura 3.3** Especificaciones técnicas del termostato eléctrico (baño maría)

### ➤ Freezer

Este equipo fue utilizado para la refrigeración del producto elaborado, como también durante su almacenamiento. Sus especificaciones técnicas se muestran en la figura 3.4.

Freezer	Especificaciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Industria:</b> Brasil</li> <li>❖ <b>Fabricado por:</b> Whirlpool S.A.</li> <li>❖ <b>Marca:</b> consul</li> <li>❖ <b>Modelo:</b> CHB53CBDEA</li> <li>❖ <b>Potencia:</b> 226 Wats</li> <li>❖ <b>Tension:</b> 220 V-</li> <li>❖ <b>Frecuencia:</b> 50 Hz</li> <li>❖ <b>Corriente:</b> 2.1 A</li> </ul>

**Fuente:** LTA, 2019

**Figura 3.4** Especificaciones técnicas del freezer

### 3.2.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el proceso de elaboración de yogurt afluado con almidón de achira se detallan a continuación:

#### ➤ Balanza digital

Este instrumento se utilizó para pesar la materia prima e insumos, utilizado en el transcurso de la realización del trabajo. Las especificaciones técnicas de la balanza digital, se muestran en la figura 3.5.

Balanza digital	Especificaciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Industria:</b> Suiza</li> <li>❖ <b>Marca:</b> METTLER TOLEDO</li> <li>❖ <b>Capacidad:</b> Max.1510 g – Min.0,5 g e: 0,1 ; d:10 mg</li> <li>❖ <b>Modelo:</b> CHB53CBDEA</li> <li>❖ <b>Potencia:</b> 5 Wats</li> <li>❖ <b>Frecuencia:</b> 50/60 Hz</li> <li>❖ <b>Tensión:</b> 220 V</li> </ul>

**Fuente:** LTA, 2019

**Figura 3.5** Especificaciones técnicas de la balanza digital

➤ **Balanza analítica digital**

Este instrumento de laboratorio se utilizó para realizar el pesaje del cultivo lácteo para la inoculación de la leche durante el transcurso de la realización del trabajo. Las especificaciones técnicas de la balanza analítica digital, se muestran en la figura 3.6.

Balanza analítica digital	
	<p style="text-align: center;"><b>Especificaciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Industria:</b> U.S.A</li> <li>❖ <b>Marca:</b> ALLIED Fisher Scientific</li> <li>❖ <b>Capacidad:</b> Max.200 g – Min. 0001 g</li> <li>❖ <b>Modelo:</b> 2200</li> <li>❖ <b>Amperios:</b> 50/60 Hz</li> </ul>

**Fuente:** LTA, 2019

**Figura 3.6** Especificaciones técnicas de la balanza analítica digital

➤ **Refractómetro de bolsillo**

Este instrumento fue utilizado para medir los sólidos solubles (°Brix), durante la recepción de la materia prima en la etapa de fermentación y producto final. Las especificaciones técnicas del refractómetro de bolsillo, se indican en la figura 3.7.


Refractómetro de bolsillo	
	<p style="text-align: center;"><b>Especificaciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Industria:</b> Japón</li> <li>❖ <b>Marca:</b> ATAGO</li> <li>❖ <b>Modelo:</b> 50301030</li> <li>❖ <b>Medidas:</b> 27x40 cm</li> <li>❖ <b>Precisión:</b> 0,2 °Brix</li> <li>❖ <b>Rango:</b> 0-32 °Brix</li> <li>❖ <b>Operación:</b> Manual</li> </ul>

**Fuente:** LTA, 2019

**Figura 3.7** Especificaciones técnicas del refractómetro de bolsillo

### ➤ pH-metro de mesa

Este instrumento facilitó la determinación del pH en la etapa de fermentación y producto terminado. Las especificaciones técnicas del pH-metro, se detallan en la figura 3.8.


pH-metro de mesa	Especificaciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Marca:</b> HANNA</li> <li>❖ <b>Rango:</b> pH:0,00 a 14,00</li> <li>❖ <b>Precisión:</b> pH:±0,1 - T°:±0,5°C pH:±0,01 - T°:±0,5°C</li> <li>❖ <b>Calibración:</b> Automática 1 ó 2 puntos</li> <li>❖ <b>Dimensiones:</b> 175 x 41 x 23cm</li> <li>❖ <b>Resolución:</b> pH:0,1 - T°:0,5°C pH:0,01 - T°:0,1°C</li> </ul>

**Fuente:** LTA, 2019

**Figura 3.8** Especificaciones técnicas del pH-metro de mesa

### ➤ Termómetro de alcohol

El termómetro de alcohol, se utilizó para medir las diferentes temperaturas durante el proceso de pasteurización, fermentación y conservación del producto terminado. Las especificaciones técnicas del termómetro, se detallan en la figura 3.9.


Termómetro de alcohol	Especificaciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Tipo:</b> Termómetro de alcohol</li> <li>❖ <b>Escala:</b> Min. -10°C ; max.200°C</li> <li>❖ <b>División de escala:</b> 1°C</li> <li>❖ <b>Carga de líquido termosensible a la temperatura:</b> Alcohol rojo</li> <li>❖ <b>Medidas externas:</b> Largo 25 cm; diámetro 5 mm</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.9** Especificaciones técnicas del termómetro de alcohol

### ➤ Viscosímetro rotacional

Este instrumento fue utilizado para determinar de la viscosidad durante la selección de la muestra ideal, como también en el producto final. Las especificaciones técnicas del viscosímetro, se detallan en la figura 3.10.

Viscosímetro rotacional	Especificaciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Marca:</b> RAYPA</li> <li>❖ <b>Red eléctrica:</b> 100-240 v/50-60 Hz</li> <li>❖ <b>Temperatura ambiente:</b> 10-40 °C</li> <li>❖ <b>Velocidades:</b> 0,3-0,5-0,6-1-1,5-2-2,5-3- 4-5-6-10-12-20-30-50-60-100-200 rpm</li> <li>❖ <b>Rango de viscosidad:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>*Version L: 3-2000000 mPas (vis.baja-media)</li> <li>*Versión R: 20-13000000 mPas (vis. Media-alta)</li> <li>*Precisión: : ±1% del fondo de escala</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Termometro:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>*Precisión:±0,1°C</li> <li>*Rango de temperatura: -15°C a +180°C</li> </ul> </li> </ul>

**Fuente:** LOU, 2019

**Figura 3.10** Especificaciones técnicas del viscosímetro rotacional

### 3.2.3 Material de laboratorio

El material de laboratorio utilizado durante el desarrollo del presente trabajo, se detalla en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1**

#### *Material de laboratorio*

Materiales	Cantidad	Capacidad	Tipo
Pipeta	1	10 ml	Vidrio
Bureta	1	25 ml	Vidrio
Matraz Erlenmeyer	2	100 ml	Vidrio
Soporte universal	1	Grande	Hierro
Embudo	1	Pequeño	Vidrio
Pinzas doble nuez	1	Grande	Bronce
Vidrio de reloj	1	Pequeño	Vidrio
Espátula	1	Mediano	Metálico
Piseta	1	300 ml	Plástico

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina que fueron utilizados para la elaboración de “yogurt aflanado con almidón de achira”, se detalla en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2**

#### *Utensilios de cocina*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Tipo</b>
Jarra graduada	2	1-2 litros	Plástico
Colador	1	Mediano	Plástico
Agitador	1	-	Acero inoxidable
Ollas	2	4-6 litros	Acero inoxidable
Recipientes	3	1 litro	Acero inoxidable
Cuchara	3	Mediana	Acero inoxidable
Cucharillas	3	-	Acero inoxidable
Papel toalla	6	-	-
Envases con tapa	100	150 ml	Poliestireno
Envase (spray)	1	200 ml	Plástico

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.5 Reactivos químicos de laboratorio

Los reactivos utilizados para el control del parametro acidez en la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira; como tambien el tipo de alcohol utilizado para la esterilizacion de materiales, se muestran en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3**

#### *Reactivos químicos de laboratorio*

<b>Reactivos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Concentración</b>	<b>Unidad</b>	<b>Marca</b>
Solución de hidroxido de sodio	1 litro	0,10	N	Anedra
Fenolftaleina	50 ml	1,00	%	Biopack
Alcohol etílico	1 litro	70,00	%	SOLQUIFAR

**Fuente:** Elaboracion propia

### 3.3 Materia prima e insumos alimentarios para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira

La materia prima e insumos alimentarios para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira se detallan a continuación:



### 3.3.1 Materia prima (leche entera fresca)

La materia prima utilizada es “leche de vaca entera cruda” adquirida de la granja de la familia Lujan de la provincia Cercado del departamento de Tarija.

### 3.3.2 Insumos y conservantes alimentarios

Los insumos alimentarios utilizados en el transcurso del presente trabajo para la elaboración de yogurt afluado con almidón de achira, se detallan en la figura 3.11.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.11** Insumos alimentarios

En la figura 3.12, se muestran los conservantes alimentarios utilizados para la elaboración de yogurt afluado con almidón de achira.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.12** Conservantes alimentarios

### 3.4 Metodología para la obtención de resultados

Los métodos utilizados para cumplir con los objetivos propuestos en el siguiente trabajo se detallan a continuación:

#### 3.4.1 Análisis fisicoquímico de la leche entera

En la tabla 3.4, se muestran los análisis fisicoquímicos de la leche entera y las técnicas / normas utilizadas para su determinación.

**Tabla 3.4**

*Análisis fisicoquímico de la leche entera*

Parámetros	Técnicas / Normas	Unidad
Acidez (ácido láctico)	NB/229:98	%
Cenizas	NB 39034:10	%
Densidad relativa (20°C)	NB 230:99	-
Materia grasa	NB 228:98	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
pH (20°C)	SM 4500-H-B	-
Proteína total (Nx6,38)	NB/ISO 8968-1:08	%
Sólidos totales	NB 231:1-1998	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g

Fuente: CEANID, 2019

#### 3.4.1.1 Análisis de micronutrientes de la leche entera

En la tabla 3.5, se muestran los análisis de micronutrientes de la leche entera y las técnicas / normas utilizadas para su determinación.

**Tabla 3.5**

*Análisis de micronutrientes de la leche entera*

Parámetros	Técnicas / Normas	Unidad
Calcio	Absorción atómica	mg/100g
Fósforo	SM 4500-P-D	mg/100g
Magnesio total	Absorción atómica	mg/100g

Fuente: CEANID, 2019

#### 3.4.2 Análisis microbiológico de la leche entera

En la tabla 3.6, se muestran los análisis microbiológicos de la leche entera y las técnicas / normas utilizados para su determinación.

Tabla 3.6

*Análisis microbiológico de la leche entera*

Parámetros	Técnicas / Normas	Unidad
Coliformes fecales	NB 32005:02	UFC/ml
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/ml
Salmonella	NB 32007:03	P/A/25 ml

Fuente: CEANID, 2019

**3.4.3 Análisis fisicoquímico del almidón de achira**

En la tabla 3.7, se muestran los análisis fisicoquímicos del almidón de achira y las técnicas / normas utilizadas para su determinación.

Tabla 3.7

*Análisis fisicoquímico del almidón de achira*

Parámetros	Técnicas / Normas	Unidad
Cenizas	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína total (Nx6,38)	NB/ISO 8968-1:08	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g

Fuente: CEANID, 2019

**3.4.3.1 Análisis de micronutrientes del almidón de achira**

En la tabla 3.8, se muestran los análisis de micronutrientes del almidón de achira y las técnicas / normas utilizadas para su determinación.

Tabla 3.8

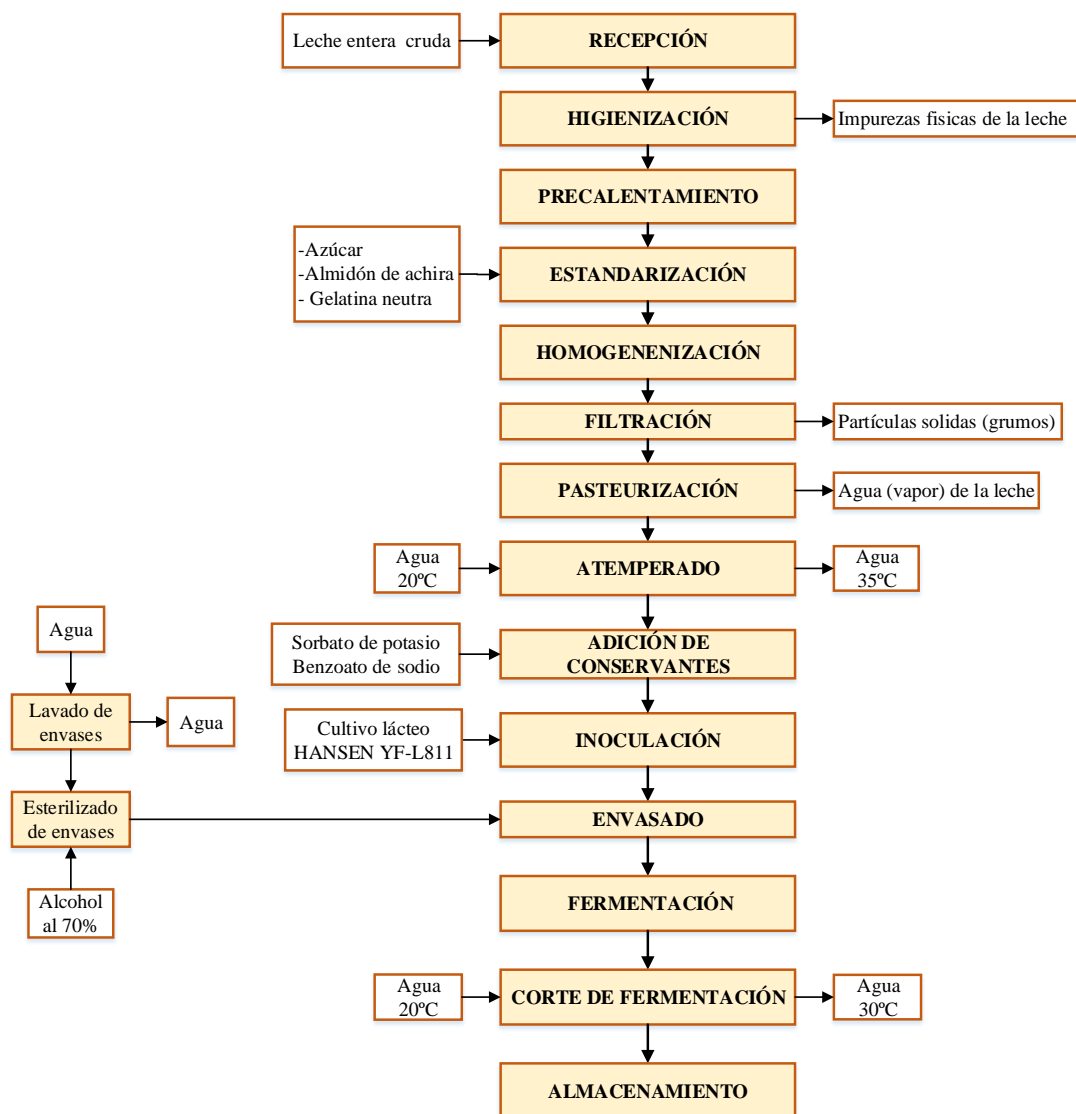
*Análisis de micronutrientes del almidón de achira*

Parámetros	Técnicas / Normas	Unidad
Fosforo	SM 4500-P-D	mg/100g
Potasio total	Absorción atómica	mg/100g

Fuente: Elaboración propia

**3.4.4 Diagrama de flujo del proceso para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira**

En la figura 3.13, se muestra el diagrama de flujo del proceso para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.13** Diagrama del proceso de elaboración de yogurt afluado con almidón de achira

En base a la figura 3.13 se procedió a desarrollar las operaciones implicadas en el proceso de elaboración de yogurt afluado con almidón de achira.

#### 3.4.4.1 Recepción

La recepción de la leche entera se realizó mediante un control de calidad con la finalidad de asegurar que cumpla con los requisitos indispensables según la Norma Boliviana (NB 33013:2013) extraídos de la tabla G.1 del (Anexo G), mediante la determinación de las siguientes pruebas:

Prueba de mastitis: La técnica se detalla en (Anexo F.1)

Prueba de Acidez (porcentaje de ácido láctico): La técnica se detalla en Anexo F.2)

Prueba de pH: La técnica se detalla en (Anexo F.3)

Prueba de solidos solubles (°Brix): La técnica se detalla en (Anexo F.4)

#### **3.4.4.2 Higienización**

La higienización se realizó haciendo pasar la leche a través de un colador de plástico estéril, trasladando la leche a un recipiente de acero inoxidable para su precalentamiento. La filtración tiene la finalidad de eliminar las partículas físicas como ser impurezas (pelos, paja, tierra, etc.) procedentes de la leche entera.

#### **3.4.4.3 Precalentamiento**

El precalentamiento de la leche filtrada, se realizó en un recipiente de acero inoxidable de cuatro litros de capacidad, donde se procedió a elevar la temperatura de la leche entera desde (10°C) hasta (60°C); con la finalidad de facilitar la disolución de los insumos en la etapa de estandarización.

#### **3.4.4.4 Estandarización**

La estandarización de la leche precalentada, se realizó colocando los insumos en polvo como ser, azúcar (7,41-8,00) %, gelatina neutra (0,09-1,00) % y almidón de achira (0,90-0,85) % en un recipiente de plástico de 500 ml de capacidad para facilitar la dispersión de los insumos secos en la leche. Seguidamente, se trasladó la leche precalentada en un recipiente de plástico de cuatro litros de capacidad donde se añadió la mezcla de insumos secos en la leche, agitando con un agitador manual de aluminio por tiempo de un minuto aproximadamente.

#### **3.4.4.5 Homogenización**

La homogenización, se realizó a la leche estandarizada en un recipiente de plástico utilizando una licuadora mixer, la cual se sumergió en la mezcla a velocidad baja entre (1-2 minutos). Esta etapa se realizó con la finalidad de obtener una mezcla más

homogénea, como también evitar la separación de la grasa de la leche y mejorando la apariencia del producto terminado.

#### **3.4.4.6 Filtración**

La filtración, se realizó trasladando la leche en el recipiente de acero inoxidable a través de un colador de plástico. Esta etapa se realizó con la finalidad de eliminar las posibles partículas o grumos de sólidos añadidos en la etapa estandarización que no han sido totalmente disueltas.

#### **3.4.4.7 Pasteurización**

La pasteurización de la leche estandarizada, se realizó en un recipiente de acero inoxidable a baño María, consiste en mantener la leche entre (82-85) °C de temperatura durante un tiempo de (10-15) minutos, con la finalidad de eliminar los microorganismos patógenos y bacterias presentes en la leche estandarizada.

#### **3.4.4.8 Atemperado**

El atemperado de la leche pasteurizada, se realizó colocándola en un recipiente de acero inoxidable a baño María en un recipiente de plástico con agua a 20°C, hasta que la leche pasteurizada alcance la temperatura entre (42-43°C), el atemperado se realizó con el fin de que la leche pasteurizada alcance la temperatura adecuada para el desarrollo de los microorganismos específicos del yogurt en la etapa de inoculación.

#### **3.4.4.9 Adición de conservantes**

La adición de conservantes, se realizó disolviendo (0,60%) de conservantes (sorbato de potasio y benzoato de sodio) en relación 1/1 en 20 ml de leche atemperada en un envase de 30 ml hasta su disolución y añadir en el total de leche atemperada; con la finalidad de alargar la vida útil del producto terminado durante la conservación por refrigeración.

#### **3.4.4.10 Inoculación**

Previamente antes de la inoculación, se realizó la esterilización del material a ser utilizado en esta etapa (mesón, recipiente del cultivo y cucharilla) con alcohol al 70%. La inoculación se realizó, disolviendo en un recipiente de plástico de 50 ml de capacidad, (0,0025-0,03) % de cultivo lácteo marca (HANSEN YF-L811) en 30 ml de leche atemperada, con la finalidad de que los microorganismos puedan adaptarse y activarse, seguidamente se adicionó el cultivo activado en el total de la leche atemperada para que los microorganismos puedan reproducirse homogéneamente.

#### **3.4.4.11 Lavado de envases**

El lavado de los envases de (poliestireno), se realizó sumergiendo los envases y tapas con agua potable a temperatura ambiente de 20°C en una fuente de plástico, con la finalidad de realizar un enjuague de los envases; seguidamente se los volcaron por un tiempo de 5 minutos; con el fin de escurrir el agua sobrante.

#### **3.4.4.12 Esterilización de envases**

La esterilización de los envases, se realizó con la ayuda de un roseador tipo spray con alcohol al 70 % de cada uno de los vasos y tapas, volcándolos para evitar posible contaminación del aire hasta el momento del envasado.

#### **3.4.4.13 Envasado**

El envasado se realizó, colocando la leche inoculada en cada uno de los vasos esterilizados, tapando cuidadosamente al terminar de envasar para evitar posible contaminación del aire.

#### **3.4.4.14 Fermentación**

La fermentación, se realizó colocando los vasos en los que se envasó la leche inoculada en el termostato eléctrico (baño María) de forma cuidadosa, manteniendo la temperatura entre (42-43) °C por tiempo de 4 horas y 30 minutos.

#### **3.4.4.15 Corte de fermentación**

El corte de fermentación, se realizó apagando el termostato eléctrico (baño María) y eliminando el agua caliente por agua fría a temperatura entre (15-20) °C manteniendo los vasos de yogurt en contacto con el agua fría por un tiempo de (5 minutos). Este proceso tiene como finalidad de frenar la actividad de las bacterias y enzimas fermentativas, para evitar que la fermentación continúe y el producto se acidifique.

#### **3.4.4.16 Almacenamiento**

El almacenamiento, se realizó colocando los envases con el producto yogurt aplanado con almidón de achira en un freezer bajo refrigeración entre (3-4) °C; con la finalidad de conservar su calidad y conservación. Para asegurar la calidad del producto terminado se realizó la determinación de los siguientes parámetros de calidad:

- Porcentaje de acidez (ácido láctico): La técnica se detalla en (Anexo F.2)
- pH: La técnica se detalla en (Anexo F.3)
- Sólidos solubles (°Brix): La técnica se detalla en (Anexo F.4)
- Viscosidad (Centipoise): La técnica se detalla en (Anexo F.5)

Se tomó como referencia los límites de máximos y mínimos de los parámetros extraídos de la tabla G.1 del (Anexo G).

#### **3.4.5 Análisis sensorial de los alimentos**

“La evaluación sensorial de los alimentos es un método experimental mediante el cual los jueces perciben y califican, caracterizando las propiedades sensoriales de muestras adecuadamente presentadas, bajo un patrón de evaluación acorde al posterior análisis estadístico”. (Ureña, 1999. Pág. 12)

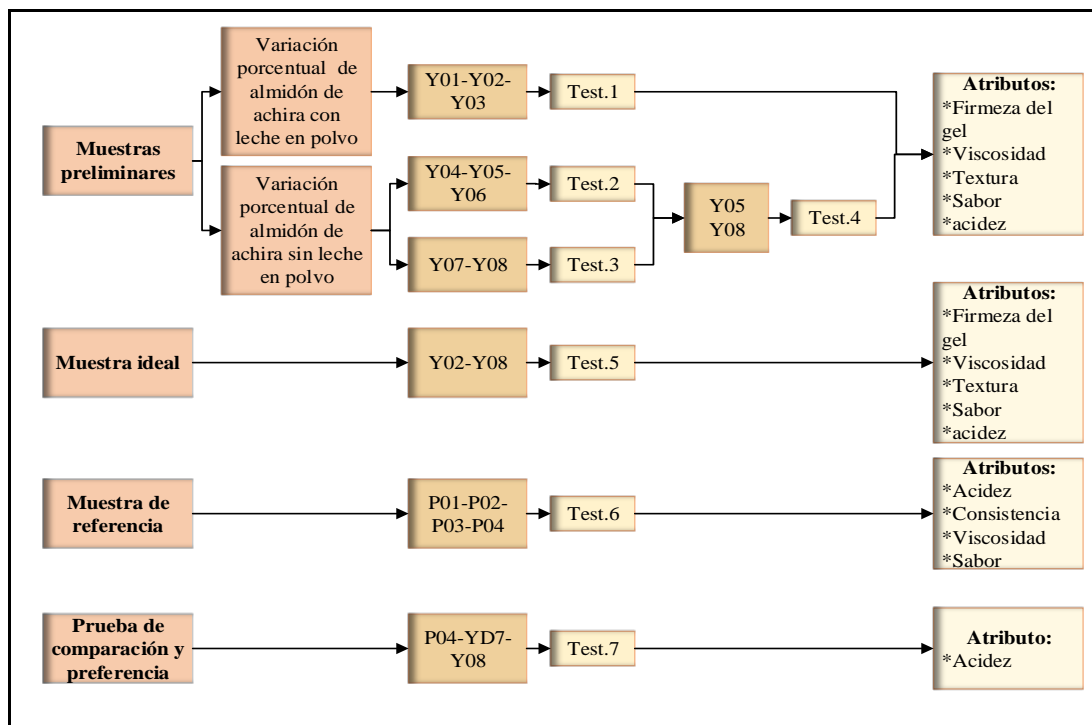
##### **3.4.5.1 Aplicación de la evaluación sensorial para la obtención de yogurt aplanado con almidón achira**

El campo de las posibles aplicaciones del análisis sensorial es muy amplio y puede ser utilizado de forma potencial en los distintos departamentos de producción, ventas,



control de calidad y desarrollo de un producto de una empresa alimentaria; inicialmente, es necesario la caracterización sensorial y su correlación con las características fisicoquímicas del producto para definir lo que se entiende como su perfil y para establecer si se satisfacen las demandas del consumidor, así como para conocer cuáles son los atributos del mismo que más influyen en su aceptabilidad. (Ibáñez & Barcina, 2001)

En la figura 3.14 se muestran las evaluaciones sensoriales realizadas para la caracterización de las propiedades organolépticas durante el presente trabajo de investigación en la elaboración del yogurt aflanado con almidón de achira.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.14** Evaluaciones sensoriales de yogurt aflanado con almidón de achira

### 3.4.6 Diseño experimental

El diseño de experimentos se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que lleven a conclusiones válidas y objetivas. El enfoque estadístico del diseño

experimental es necesario si se quieren sacar conclusiones significativas de los datos obtenidos. (Montgomery, 2004)

En el campo de la industria es frecuente hacer experimentos o pruebas con la intención de resolver un problema o comprobar una idea (conjetura, hipótesis); como hacer algunos cambios en los materiales, métodos o condiciones de operación de un proceso, hasta encontrar la que da el mejor resultado o evaluar un nuevo material con la intención de lograr mejoras o eliminar algún problema. El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. (Gutiérrez & De la Vara, 2012)

El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras. (Gutiérrez & De la Vara, 2012)

#### **3.4.6.1 Diseño factorial**

Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o replica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. Por ejemplo, si el factor A tiene a niveles y el factor B tiene b niveles, cada replica contiene todas las ab combinaciones de los tratamientos. (Montgomery, 2004)

En la ecuación 3.2 se muestra el diseño factorial  $2^k$  a ser utilizado en el presente trabajo:

$$\boxed{2^k} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

**Donde:**

**2** = número de niveles

**k** = número de variables

### 3.4.6.1.1 Diseño experimental $2^3$ en la etapa de fermentación para la elaboración de yogurt aplanado con almidón de achira

El diseño experimental a ser aplicado en la etapa de fermentación, fue conformado por tres variables: porcentaje de almidón de achira, porcentaje de gelatina y porcentaje de cultivo láctico.

Para la realizar el diseño experimental en la etapa de fermentación, se aplicó de acuerdo a la ecuación 3.1, cuyo diseño factorial corresponde a la ecuación 3.2:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ corridas / prueba} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Los factores tomados en cuenta en el diseño experimental se muestran en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9**

#### *Factores en la etapa de fermentación*

Factores	Unidad	Símbolo	Numero de niveles
Almidón de achira	%	A	2
Gelatina neutra	%	G	2
Cultivo lácteo	%	C	2

**Fuente:** Elaboración propia

Los niveles de variación de los factores aplicados en la dosificación en la etapa de fermentación se muestran en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10**

#### *Niveles de variación de los factores aplicados en la etapa de fermentación*

Factores	Niveles	
	Nivel inferior	Nivel superior
Almidón de achira (A)	0,898 % (-)	0,915 % (+)
Gelatina neutra (G)	0,000 % (-)	0,092 % (+)
Cultivo lácteo (C)	0,003 % (-)	0,004 % (+)

**Fuente:** Elaboración propia

La matriz de variables del diseño factorial para el proceso de fermentación de yogurt aplanado con almidón de achira, se detallan en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11***Matriz de variables del diseño factorial 2<sup>3</sup> para el proceso de fermentación*

Corridas	Combinación de tratamientos	Factores			Interacción				Respuesta
		A	G	C	AG	AC	GC	AGC	Y <sub>i</sub>
1	(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y <sub>1</sub>
2	a	+	-	-	-	-	+	+	Y <sub>2</sub>
3	b	-	+	-	-	+	-	+	Y <sub>3</sub>
4	c	+	+	-	+	-	-	-	Y <sub>4</sub>
5	ab	-	-	+	+	-	-	+	Y <sub>5</sub>
6	ac	+	-	+	-	+	-	-	Y <sub>6</sub>
7	bc	-	+	+	-	-	+	-	Y <sub>7</sub>
8	abc	+	+	+	+	+	+	+	Y <sub>8</sub>

**Fuente:** Elaboración propia**Donde:**Y<sub>i</sub> 1 = Variable respuesta “porcentaje de acidez (ácido láctico)”Y<sub>i</sub> 2 = Variable respuesta “pH”

### 3.4.7 Caracterización del producto terminado

La determinación fisicoquímica, análisis de micronutrientes y análisis microbiológico del producto terminado yogurt aflanado con almidón de achira, se detalla a continuación:

#### 3.4.7.1 Análisis fisicoquímico del yogurt aflanado con almidón de achira

En la en la tabla 3.12, se muestran los análisis fisicoquímicos del yogurt aflanado con almidón de achira, métodos y normas para su determinación.

**Tabla 3.12*****Análisis fisicoquímico del yogurt aflanado con almidón de achira***

Parámetros	Métodos / Normas	Unidad
Acidez (ac. láctico)	NB 229:98	%
Cenizas	NB 39034:10	%
Densidad relativa (20°C)	NB 230:99	-
Materia grasa	NB 228:98	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína total (Nx6,38)	NB/ISO 8968-1:08	%
pH (20°C)	SM 4500-H-B	-
Sólidos solubles	NB 36003:02	°Brix
Sólidos totales	NB 231:1-1998	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g

**Fuente:** CEANID, 2019**3.4.7.2 Análisis de micronutrientes del yogurt aflanado con almidón de achira**

En la en la tabla 3.13, se muestran los análisis de micronutrientes en el yogurt aflanado con almidón de achira, métodos y normas para su determinación.

**Tabla 3.13*****Análisis de micronutrientes del yogurt aflanado con almidón de achira***

Parámetros	Métodos / Normas	Unidad
Calcio	Absorción atómica	mg/100g
Fosforo	SM 4500-P-D	mg/100g
Magnesio total	Absorción atómica	mg/100g
Potasio	Absorción atómica	Absorción atómica

**Fuente:** CEANID, 2019**3.4.7.3 Análisis microbiológico del yogurt aflanado con almidón de achira**

En la tabla 3.14, se muestran los análisis microbiológicos del yogurt aflanado con almidón de achira, métodos y normas para su determinación.

**Tabla 3.14*****Análisis microbiológico del yogurt aflanado con almidón de achira***

Parámetros	Métodos / Normas	Unidad
Coliformes fecales	NB 32005:02	UFC/ml
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/ml
Mohos y levaduras	NB 32007:03	UFC/g

**Fuente:** CEANID, 2019

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### 4.1 Caracterización de la leche entera y el almidón de achira

Para la caracterización de la leche entera, se tomó en cuenta los resultados de los parámetros de control de calidad, análisis fisicoquímico, análisis de micronutrientes y análisis microbiológico de la leche entera. También se tomó en cuenta los resultados del análisis fisicoquímico y análisis de micronutrientes del almidón de achira, y los cuales se detallan a continuación:

##### 4.1.1 Parámetros de control de calidad de la leche entera

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros de control de calidad de la leche entera; los límites permisibles tomados en cuenta fueron extraídos de la tabla G.1 del (Anexo G).

**Tabla 4.1**

*Parámetros de control de calidad de la leche entera*

Parámetros	Unidad	Resultado	Límites permisibles	
			Máximo	Mínimo
Mastitis	Grado	0,00	1,00	0,00
Acidez (ácido láctico)	%	0,15	0,18	0,13
pH (20°C)	%	6,80	6,80	6,60
Sólidos solubles	°Brix	9,00	11,20	-

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.1, se observa que la leche entera no presentó mastitis en ningún grado; una acidez de 0,16 % (ácido láctico), pH (20°C) 6,80 y sólidos solubles 9,00 °Brix.

##### 4.1.2 Análisis fisicoquímico de la leche entera

En la tabla 4.2, se muestra los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de la leche entera de datos extraídos del Anexo A.1 (Anexo A).

Tabla 4.2

*Análisis fisicoquímico de la leche entera*

Parámetros	Unidad	Resultado	Límites permisibles	
			Máximo	Mínimo
Acidez (ácido láctico)	%	0,14	Sin referencia	Sin referencia
Cenizas	%	0,62	Sin referencia	Sin referencia
Densidad relativa (20°C)	-	1,03	Sin referencia	Sin referencia
Materia grasa	%	3,60	Sin referencia	Sin referencia
Hidratos de carbono	%	6,64	Sin referencia	Sin referencia
Humedad	%	88,11	Sin referencia	Sin referencia
pH (20°C)	-	6,80	Sin referencia	Sin referencia
Proteína total (Nx6,38)	%	3,03	Sin referencia	Sin referencia
Sólidos totales	%	11,89	Sin referencia	Sin referencia
Valor energético	Kcal/100g	63,08	Sin referencia	Sin referencia

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.2, se observa que la leche entera tiene una acidez de 0,14% (ácido láctico), cenizas 0,62%, densidad relativa (20°C) 1,03, materia grasa 3,60%, hidratos de carbono 6,64%, humedad 88,11%, pH (20°C) 6,80, proteína total (Nx6,38) 3,03%, sólidos totales 11,89% y valor energético 63,08 Kcal/100g.

**4.1.2.1 Análisis de micronutrientes en la leche entera**

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes de la leche entera de datos extraídos del Anexo A.1 (Anexo A).

Tabla 4.3

*Análisis de los micronutrientes en la leche entera*

Parámetros	Unidad	Resultado	Límites permisibles	
			Máximo	Mínimo
Calcio	mg/100g	1176,00	Sin referencia	Sin referencia
Fósforo	mg/100g	270,00	Sin referencia	Sin referencia
Magnesio total	mg/100g	100,00	Sin referencia	Sin referencia

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.3, se observa que la leche entera tiene micronutrientes como calcio 1176,00 mg/100g, fósforo 270,00 mg/100g y magnesio total 100,00 mg/100g.

**4.1.3 Análisis microbiológico de la leche entera**

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la leche entera de datos extraídos del Anexo A.1 (Anexo A).



Tabla 4.4

*Análisis microbiológico de la leche*

Parámetros	Unidad	Resultado	Límites permisibles	
			Máximo	Mínimo
Coliformes fecales	UFC/ml	$6,5 \times 10^2$	Sin referencia	Sin referencia
Escherichia coli	UFC/ml	$1,5 \times 10^2$	Sin referencia	Sin referencia
Salmonella	P/A/25 ml	Ausencia	Sin referencia	Sin referencia

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.4, se observa en la leche entera la presencia microbiológica de Coliformes Fecales es de  $6,5 \times 10^2$  UFC/ml, Escherichia Coli  $1,5 \times 10^2$  UFC/ml y Salmonella ausencia P/A/25 ml.

#### 4.1.4 Análisis fisicoquímico del almidón de achira

En la tabla 4.5, se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del almidón de achira de datos extraídos del Anexo A.2 (Anexo A).

Tabla 4.5

*Análisis fisicoquímico del almidón de achira*

Parámetros	Unidad	Resultado	Límites permisibles	
			Máximo	Mínimo
Cenizas	%	0,19	Sin referencia	Sin referencia
Fibra	%	n. d.	Sin referencia	Sin referencia
Grasa	%	0,55	Sin referencia	Sin referencia
Hidratos de carbono	%	84,22	Sin referencia	Sin referencia
Humedad	%	14,61	Sin referencia	Sin referencia
Proteína total (Nx6,25)	%	0,43	Sin referencia	Sin referencia
Valor energético	Kcal/100g	343,55	Sin referencia	Sin referencia

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.5, se observa que el almidón de achira tiene un porcentaje de cenizas de 0,19%, fibra (n.d.) %, grasa 0,55 %, hidratos de carbono 84,22%, humedad 14,61%, proteína total (Nx6,25) 0,43% y valor energético 343,55 Kcal/100g.

#### 4.1.4.1 Análisis de micronutrientes en el almidón de achira

En la tabla 4.6, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes del almidón de achira de datos extraídos del Anexo A.2 (Anexo A).

Tabla 4.6

*Análisis de los micronutrientes en el almidón de achira*

Parámetros	Unidad	Resultado	Límites permisibles	
			Máximo	Mínimo
Fósforo	mg/100g	35,60	Sin referencia	Sin referencia
Potasio total	mg/100g	2,00	Sin referencia	Sin referencia

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.6, se observa que el almidón de achira tiene micronutrientes como fósforo 35,60 mg/100g y potasio total 2,00 mg/100g.

#### 4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira

Para realizar la caracterización de las variables del proceso de yogurt aflanado con almidón de achira se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

##### 4.2.1 Pruebas iniciales y preliminares para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira

Inicialmente, con el propósito de obtener una metodología inicial para la elaboración de yogurt aflanado, se elaboraron de forma experimental ocho pruebas de yogurt aflanado; incorporando almidón de maíz con leche en polvo y sin leche polvo detalladas en la tabla H.1 del (Anexo H), de las cuales se obtuvieron dos pruebas experimentales tabla 4.7, en base a las degustaciones realizadas por el personal del Taller de Alimentos del área de lácteos.

Tabla 4.7

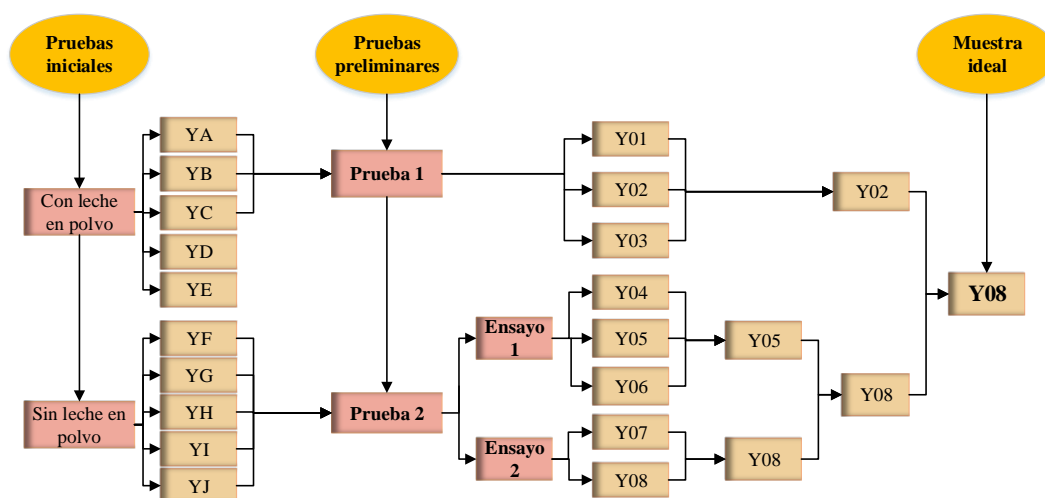
*Pruebas experimentales de yogurt aflanado con almidón de maíz*

Prueba 1: Con leche en polvo		Prueba 2: Sin leche en polvo	
Formulación M4 (%)		Formulación M6 (%)	
Leche	91,24	Leche	91,24
Azúcar	7,39	Azúcar	7,39
Almidón de maíz	0,91	Almidón de maíz	1,28
Leche en polvo	0,46	Gelatina neutra	0,09
Cultivo	0,002	Cultivo	0,002
Condiciones de pasteurización		Condiciones de pasteurización	
Temperatura: 82 °C ; Tiempo: 10 minutos		Temperatura: 82 °C ; Tiempo: 10 minutos	
Condiciones de fermentación		Condiciones de fermentación	
Temperatura: 42°C ; Tiempo: 4 horas y 30 minutos		Temperatura: 42°C ; Tiempo: 4 horas y 30 minutos	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.1, se muestran las pruebas iniciales a nivel de laboratorio para las cuales se elaboraron diez muestras en base a las dos formulaciones detalladas en la tabla 4.7; sustituyendo el almidón de maíz por almidón de achira para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira. Seguidamente, se seleccionaron tres muestras de la primera prueba inicial con leche en polvo (Prueba 1); para la (Prueba 2) se tomaron tres muestras para el (Ensayo 1) y dos muestras para el (Ensayo 2) a partir de la prueba inicial sin leche en polvo. Obtenida la muestra del (Ensayo 1) y otra muestra del (Ensayo 2), y se realizó una preselección con el propósito de obtener una muestra de la prueba 2.

Posteriormente, se realizó una selección de las muestras obtenidas de la (Prueba 1) con leche en polvo y (Prueba 2) sin leche en polvo; con la finalidad de seleccionar una muestra ideal para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1** Pruebas iniciales y preliminares para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira

#### 4.2.1.1 Variación de la dosificación de leche entera e insumos en las pruebas iniciales de yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.8, se muestran la variación de la dosificación (leche entera e insumos) para las diez pruebas iniciales de yogurt aflanado con almidón de achira con leche en polvo y sin leche en polvo.

**Tabla 4.8**

*Variación de la dosificación de leche entera e insumos en las pruebas iniciales de yogurt aplanado con almidón de achira*

Pruebas iniciales	Leche (%)	Azúcar (%)	Almidón de achira (%)	Leche en polvo (%)	Gelatina neutra (%)	Cultivo lácteo (%)	
Con leche en polvo	YA	91,26	7,40	0,89	0,46	-	0,0025
	YB	91,28	7,40	0,86	0,46	-	0,0025
	YC	91,30	7,40	0,84	0,46	-	0,0025
	YD	91,26	7,40	1,00	0,36	-	0,0020
	YE	91,28	7,40	0,78	0,36	-	0,0020
Sin leche en polvo	YF	91,63	7,40	0,85	-	0,09	0,0025
	YG	91,61	7,40	0,87	-	0,09	0,0025
	YH	91,58	7,40	0,91	-	0,09	0,0025
	YI	91,55	7,40	0,95	-	0,09	0,0030
	YJ	91,60	7,40	0,88	-	0,09	0,0030

**Fuente:** Elaboración propia

Las diez pruebas iniciales de la tabla 4.8, fueron degustadas por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos del área de lácteos, detalladas en la tabla H.2 del (Anexo H); de las cuales se obtuvieron aquellas muestras de mayor aceptación para la prueba 1 con leche en polvo las muestras (YA, YB y YC). Para la prueba 2 sin leche en polvo en el ensayo 1 (YF, YG y YH) y ensayo 2 (YI y YJ).

#### **4.2.1.2 Variación de la dosificación de almidón de achira en la prueba 1 para la elaboración de yogurt aplanado**

En la tabla 4.9, se muestran la variación de la dosificación de almidón de achira para tres muestras de yogurt aplanado en la prueba 1 con leche en polvo. Las condiciones de fermentación se mantuvieron a temperatura de 42°C, por un tiempo de 4 horas y 30 minutos.

**Tabla 4.9**

*Variación de la dosificación de almidón de achira en la prueba 1 con leche en polvo*

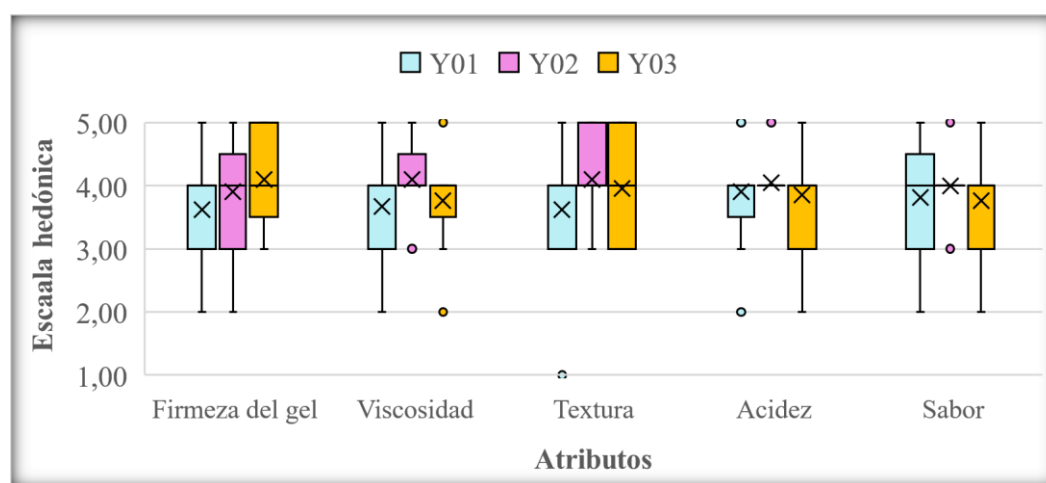
Muestras	Formulación				
	Leche entera (%)	Azúcar (%)	Almidón de achira (%)	Leche en polvo (%)	Cultivo lácteo (%)
Y01	91,26	7,39	0,89	0,46	0,0025
Y02	91,28	7,39	0,86	0,46	0,0025
Y03	91,30	7,39	0,84	0,46	0,0025

**Fuente:** Elaboración propia

Las muestras de la tabla 4.9, fueron evaluadas sensorialmente por 21 jueces no entrenados, según se detalla en la figura 3.14.

#### 4.2.1.2.1 Estadístico caja y bigote para la dosificación de almidón de achira en la prueba 1 con leche en polvo

En la figura 4.2, se muestran el estadístico caja y bigote para los atributos firmeza del gel (tabla C.1); viscosidad (tabla C.3); acidez (tabla C.5); textura (tabla C.7) y sabor (tabla C.9); extraídos del (Anexo C); en la dosificación de almidón de achira para la prueba 1 con leche en polvo.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.2** Caja y bigote de los atributos sensoriales en la dosificación de almidón de achira prueba 1 con leche en polvo

En la figura 4.2, se puede observar caja y bigote para la prueba 1 del atributo viscosidad muestra Y02(4,10) tiene la mediana cercana al segundo cuartil 50%; acidez Y02(4,05) y sabor Y02(4,00) se encuentran con el 100% de los datos concentrados en la escala cuatro; es decir la muestra Y02 para los atributos tienen mayor aceptación por los jueces. Sin embargo, para los atributos firmeza del gel Y03(4,10), que se ubica en el segundo cuartil 50% y textura Y02(4,10) en el primer cuartil 25%; con mayor dispersión de los resultados y que se constituye en una menor aceptación de los atributos por los jueces.

#### 4.2.1.2.2 Análisis de varianza de los atributos sensoriales en la dosificación de almidón de achira para la prueba 1 con leche en polvo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza de los atributos firmeza del gel (tabla C.2); viscosidad (tabla C.4); acidez (tabla C.6), textura (tabla C.8) y sabor (tabla C.10) del (Anexo C), se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre las muestras del yogurt aflanado con almidón de achira  $p < 0,05$ .

De acuerdo a caja y bigote de la prueba 1 con leche en polvo; los atributos viscosidad (4,10), acidez (4,05) y sabor (4,00) de la muestra Y02 fueron más aceptados por los jueces. Estadísticamente, se evidenció que no existe diferencia significativa entre los tratamientos (Y01, Y02 y Y03)  $p < 0,05$ . En relación al proceso, se evidenció que la variación de la dosificación de almidón de achira en el proceso no influye directamente en la viscosidad, acidez y sabor.

#### 4.2.1.3 Variación de la dosificación de almidón de achira en la prueba 2 para la elaboración de yogurt aflanado

Para la prueba 2, se realizaron dos ensayos con la variación de la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo en la formulación de yogurt aflanado sin leche en polvo: (ensayo 1) y (ensayo 2). Las condiciones de fermentación fueron temperatura 42°C y tiempo de 4 horas y 30 minutos.

##### 4.2.1.3.1 Variación de la dosificación de almidón de achira para el ensayo 1

En la tabla 4.10, se muestran la variación de la dosificación de almidón de achira para tres muestras de yogurt aflanado en el ensayo 1 y sin leche en polvo.

**Tabla 4.10**

*Variación de la dosificación de almidón de achira en el ensayo 1 sin leche en polvo*

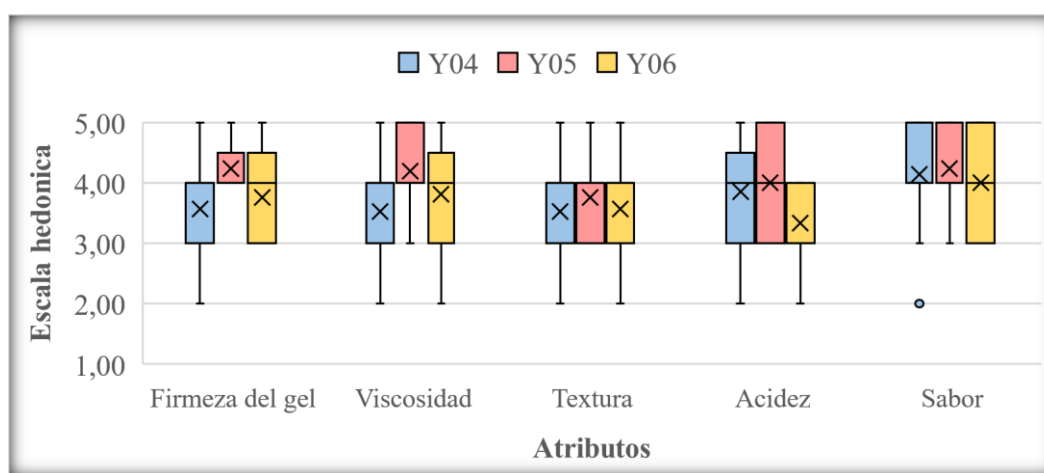
Muestras	Formulación				
	Leche entera (%)	Azúcar (%)	Almidón de achira (%)	Gelatina Neutra (%)	Cultivo lácteo (%)
Y04	91,63	7,42	0,85	0,09	0,0025
Y05	91,61	7,42	0,87	0,09	0,0025
Y06	91,58	7,42	0,91	0,09	0,0025

**Fuente:** Elaboración propia

Las muestras de la tabla 4.10, fueron evaluadas sensorialmente por 21 jueces no entrenados, según se detalla en la figura 3.14.

#### 4.2.1.3.1.1 Estadístico caja y bigote para la dosificación de almidón de achira en el ensayo 1 sin leche en polvo

En la figura 4.3, se muestran el estadístico caja y bigote para los atributos firmeza del gel (tabla C.11); viscosidad (tabla C.15); textura (tabla C.19); acidez (tabla C.23) y sabor (tabla C.25); extraídos del (Anexo C); en la dosificación de almidón de achira para el ensayo 1 y sin leche en polvo.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.3** Caja y bigote de los atributos sensoriales en la dosificación de almidón de achira ensayo 1 sin leche en polvo

En la figura 4.3, se puede observar caja y bigote para el ensayo 1 del atributo firmeza del gel muestra Y05(4,24) tiene la mediana en el segundo cuartil 50%; viscosidad Y05(4,19) cercana al segundo cuartil 50% y acidez Y05(4,00) en el segundo cuartil 50%; es decir la muestra Y05 para los atributos tiene mayor aceptación por los jueces. Sin embargo, para los atributos textura Y05(3,76); se ubica cerca del tercer cuartil 75% y sabor Y05(4,24) cerca del segundo cuartil 50%; con mayor dispersión de los resultados y que se constituye en una menor aceptación de los atributos por los jueces.

#### 4.2.1.3.1.2 Estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel en la dosificación de almidón de achira para el ensayo 1 sin leche en polvo

En la tabla 4.11, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel en la dosificación de almidón de achira para el ensayo 1 sin leche en polvo de datos de la tabla C.14 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.11**

*Estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel en la dosificación de almidón de achira ensayo 1 sin leche en polvo*

Tratamientos	Medias	Comparación de medias con D.M.S	Significancia
Y05- Y06	4,24-3,76= 0,48	0,48<0,50	No significativo
Y05- Y04	4,24-3,57= 0,67	0,67>0,50	Significativo
Y06- Y04	3,76-3,57 = 0,19	0,19<0,50	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.11, se puede observar que entre los tratamientos (Y05-Y04), si existe diferencia significativa; sin embargo, para los tratamientos (Y05-Y06) y (Y06-Y04), no existe diferencia significativa  $p<0,05$ .

#### 4.2.1.3.1.3 Estadístico de Tukey del atributo viscosidad para la dosificación de almidón de achira en el ensayo 1 sin leche en polvo

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo viscosidad en la dosificación de almidón de achira para el ensayo 1 sin leche en polvo de datos de la tabla C.18 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.12**

*Estadístico de Tukey del atributo viscosidad en la dosificación de almidón de achira ensayo 1 sin leche en polvo*

Tratamientos	Media	Comparación de medias con D.M.S	Significancia
Y05- Y06	4,19-3,81= 0,38	0,38<0,58	No significativo
Y05- Y04	4,19-3,52= 0,67	0,67>0,58	Significativo
Y06- Y04	3,81-3,52 = 0,29	0,29<0,58	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.12, se puede observar que entre los tratamientos (Y05-Y04), si existe diferencia significativa; sin embargo, para los tratamientos (Y05-Y06) y (Y06-Y04), no existe diferencia significativa  $p<0,05$ .



#### 4.2.1.3.1.4 Estadístico de Tukey del atributo acidez para la dosificación de almidón de achira en el Ensayo 1 sin leche en polvo

En la tabla 4.13, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo acidez en la dosificación de almidón de achira para el ensayo 1 sin leche en polvo de datos de la tabla C.22 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.13**

*Estadístico de Tukey del atributo acidez en la dosificación de almidón de achira ensayo 1 sin leche en polvo*

Tratamientos	Medias	Comparación de medias con D.M.S	Significancia
Y05-Y04	4,00-3,86= 0,14	0,48<0,62	No significativo
Y05-Y06	4,00-3,33= 0,67	0,67>0,62	Significativo
Y04-Y06	3,86-3,33 = 0,53	0,19<0,62	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.13, se puede observar que entre los tratamientos (Y05-Y06), si existe diferencia significativa; sin embargo, para los tratamientos (Y05-Y04) y (Y04-Y06), no existe diferencia significativa  $p<0,05$ .

#### 4.2.1.3.1.5 Análisis de varianza de los atributos textura y sabor para la dosificación de almidón de achira en el ensayo 1 sin leche en polvo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza de los atributos textura (tabla C.24) y sabor (tabla C.26) del (Anexo C), se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre las muestras del yogurt aplanado con almidón de achira  $p<0,05$ .

De acuerdo a caja y bigote del ensayo 1 sin leche en polvo; los atributos firmeza del gel (4,24), viscosidad (4,19), acidez (4,00) de la muestra Y05 fueron más aceptados por los jueces. Estadísticamente, se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (Y05-Y04) y (Y05-Y06)  $p<0,05$ . En relación al proceso se pudo evidenciar que la variación de almidón de achira añadido en el proceso si influye directamente en la firmeza del gel, viscosidad y acidez.

#### 4.2.1.3.2 Variación de la dosificación de almidón de achira para el ensayo 2

En la tabla 4.14, se muestran la variación en la dosificación de almidón de achira para tres muestras de yogurt aplanado en el ensayo 2 y sin leche en polvo.

**Tabla 4.14***Variación de la dosificación de almidón de achira en el ensayo 2 sin leche en polvo*

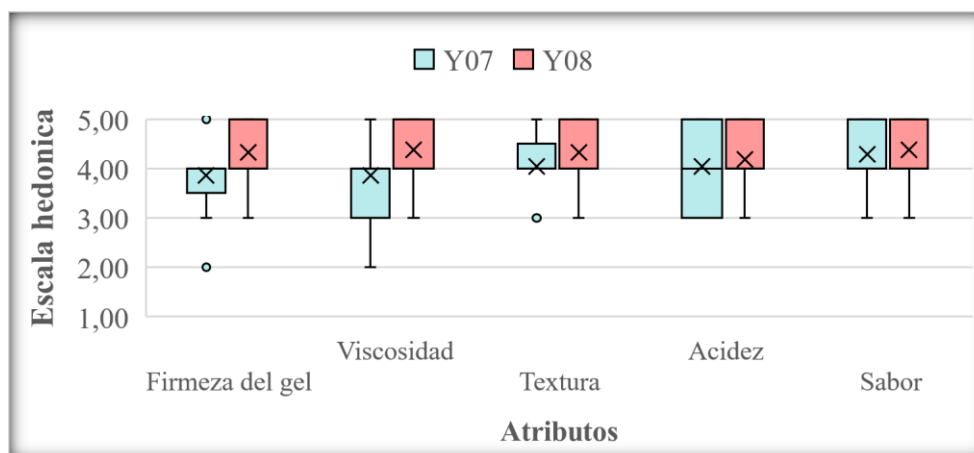
Muestras	Formulación				
	Leche entera (%)	Azúcar (%)	Almidón de achira (%)	Gelatina Neutra (%)	Cultivo lácteo (%)
Y07	91,55	7,42	0,95	0,09	0,003
Y08	91,60	7,42	0,88	0,09	0,003

**Fuente:** Elaboración propia

Las muestras de la tabla 4.14, fueron evaluadas sensorialmente por 21 jueces no entrenados, según se detalla en la figura 3.14.

#### 4.2.1.3.2.1 Estadístico caja y bigote para la dosificación de almidón de achira en el ensayo 2 sin leche en polvo

En la figura 4.4, se muestran el estadístico caja y bigote para los atributos firmeza del gel (tabla C.27); viscosidad (tabla C.31); acidez (tabla C.35); textura (tabla C.37) y sabor (tabla C.39); extraídos del (Anexo C); en la dosificación de almidón de achira para el ensayo 2 y sin leche en polvo.

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.4** Caja y bigote de los atributos sensoriales en la dosificación de almidón de achira ensayo 2 sin leche en polvo

En la figura 4.4, se puede observar caja y bigote para el ensayo 2 del atributo firmeza de gel muestra Y08(4,33) tiene una mediana cercana al segundo cuartil 50% y viscosidad Y08(4,38) en el segundo cuartil 50%; es decir la muestra Y08 para los atributos tiene mayor aceptación por los jueces. Sin embargo, para los atributos textura Y08(4,33), acidez Y08(4,19) y sabor Y08(4,38) ubicados cercanos al segundo cuartil

50%; con mayor dispersión de los resultados y que se constituye en una menor aceptación de los atributos por los jueces.

#### 4.2.1.3.2.2 Estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel en la dosificación de almidón de achira en el ensayo 2 sin leche en polvo

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel en la dosificación de almidón de achira para el ensayo 2 sin leche en polvo de datos de la tabla C.30 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.15**

*Estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel en la dosificación de almidón de achira ensayo 2 sin leche en polvo*

Tratamientos	Medias	Comparación de medias con D.M.S	Significancia
Y08-Y07	4,33-3,86= 0,48	0,48<0,37	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.15, se puede observar que entre los tratamientos (Y08-Y07), si existe diferencia significativa  $p<0,05$ .

#### 4.2.1.3.2.3 Estadístico de Tukey del atributo viscosidad en la dosificación de almidón de achira en el ensayo 2 sin leche en polvo

En la tabla 4.16, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo viscosidad en la dosificación de almidón de achira para el ensayo 2 sin leche en polvo de datos de la tabla C.34 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.16**

*Estadístico de Tukey del atributo viscosidad en la dosificación de almidón de achira ensayo 2 sin leche en polvo*

Tratamientos	Media	Comparación de medias con D.M.S	Significancia
Y08-Y07	4,38-3,86=0,52	0,52>0,47	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.16, se puede observar que entre los tratamientos (Y08-Y07), si existe diferencia significativa  $p<0,05$ .

#### 4.2.1.3.2.4 Análisis de varianza de los atributos textura, acidez y sabor para la dosificación de almidón de achira en el ensayo 2 sin leche en polvo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza de los atributos textura (tabla C.36), acidez (tabla C.38) y sabor (tabla C.40) del (Anexo C), se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre las muestras del yogurt aflanado con almidón de achira  $p < 0,05$ .

De acuerdo a caja y bigote del ensayo 2 sin leche en polvo; los atributo firmeza del gel (4,33) y viscosidad (4,00) de la muestra Y08 fueron más aceptados por los jueces. Estadísticamente, se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (Y08-Y07)  $p < 0,05$ . En relación al proceso se pudo evidenciar que la variación de almidón de achira añadido en el proceso si influye directamente en la firmeza del gel y viscosidad.

#### 4.2.1.3.3 Variación de la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo en la prueba 2 para la elaboración de yogurt aflanado

En la tabla 4.17, se muestra la variación de la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo para dos muestras de yogurt aflanado en la prueba 2 sin leche en polvo.

**Tabla 4.17**

*Variación de la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo en la prueba 2 sin leche en polvo*

Muestras	Formulación				
	Leche entera (%)	Azúcar (%)	Almidón de achira (%)	Gelatina neutra (%)	Cultivo lácteo (%)
Y05	91,61	7,42	0,87	0,09	0,0025
Y08	91,60	7,42	0,88	0,09	0,0030

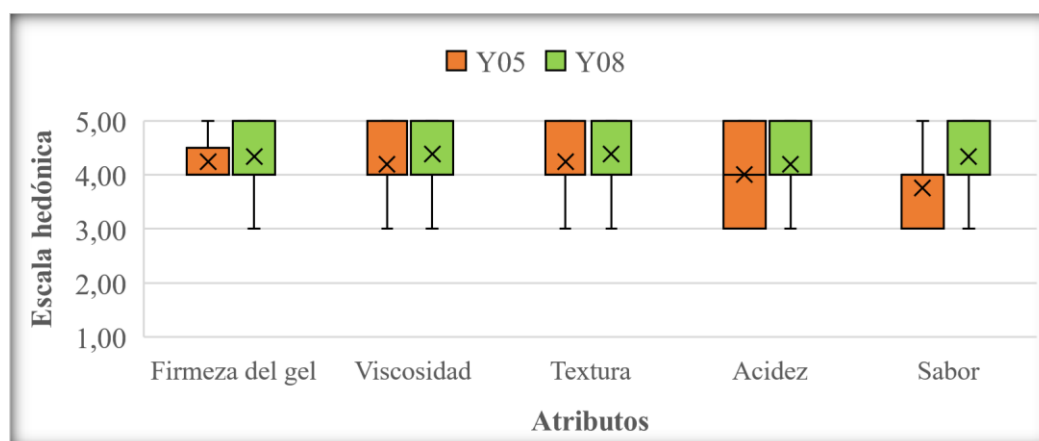
**Fuente:** Elaboración propia

Las muestras de la tabla 4.17, fueron evaluadas sensorialmente por 21 jueces no entrenados, según se detalla en la figura 3.14.

#### 4.2.1.3.3.1 Estadístico caja y bigote para la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo en la prueba 2 sin leche en polvo

En la figura 4.5, se muestran el estadístico caja y bigote para los atributos firmeza del gel (tabla C.41); viscosidad (tabla C.45); acidez (tabla C.47); textura (tabla C.49) y

sabor (tabla C.51); extraídos del (Anexo C); en la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo para la prueba 2 sin leche en polvo.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.5** Caja y bigote de los atributos sensoriales en la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo prueba 2 sin leche en polvo

En la figura 4.5, se puede observar caja y bigote para la prueba 2 del atributo sabor muestra Y08(4,33) y acidez Y08 (4,19) tienen la mediana cercana al segundo cuartil 50%; es decir la muestra Y08 para los atributos tiene mayor aceptación por los jueces. Sin embargo, para los atributos firmeza del gel Y08(4,33); se ubica en el primer cuartil 25%, viscosidad Y08(4,38) cerca del segundo cuartil 50% y sabor Y08(4,38) cerca del segundo cuartil 50%; con mayor dispersión de los resultados y que se constituye en una menor aceptación de los atributos por los jueces.

#### 4.2.1.3.3.2 Estadístico de Tukey del atributo sabor en la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo para la prueba 2 sin leche en polvo

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo sabor en la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo para la prueba 2 sin leche en polvo de datos de la tabla C.44 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.18**

*Estadístico de Tukey del atributo sabor en la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo para la prueba 2 sin leche en polvo*

Tratamientos	Media	Comparación de medias con D.M.S	Significancia
Y08-Y05	4,33-3,76=0,57	0,57>0,41	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.18, se puede observar que entre los tratamientos (Y08-Y05), si existe diferencia significativa  $p < 0,05$ .

#### 4.2.1.3.3 Análisis de varianza de los atributos sensoriales en la dosificación de almidón de achira y cultivo lácteo para la prueba 2 sin leche en polvo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza de los atributos firmeza del gel (tabla C.46), viscosidad (tabla C.48), acidez (tabla C.50) y textura (tabla C.52) del Anexo C, se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre las muestras del yogurt aflanado con almidón de achira  $p < 0,05$ .

De acuerdo a caja y bigote de la prueba 2; el atributo sabor (4,33) de la muestra Y08 fueron más aceptados por los jueces. Estadísticamente, se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (Y08-Y05)  $p < 0,05$ . En relación al proceso se pudo evidenciar que la variación de almidón de achira y cultivo lácteo añadido en el proceso si influye directamente en el atributo sabor.

#### 4.2.1.4 Selección de la muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.19, se muestra la formulación de dos muestras de yogurt aflanado con almidón de achira elegidas de la (Prueba 1) con leche en polvo y (Prueba 2) sin leche en polvo; con el fin de elegir la muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira.

**Tabla 4.19**

*Formulación de yogurt aflanado con almidón de achira para elegir muestra ideal*

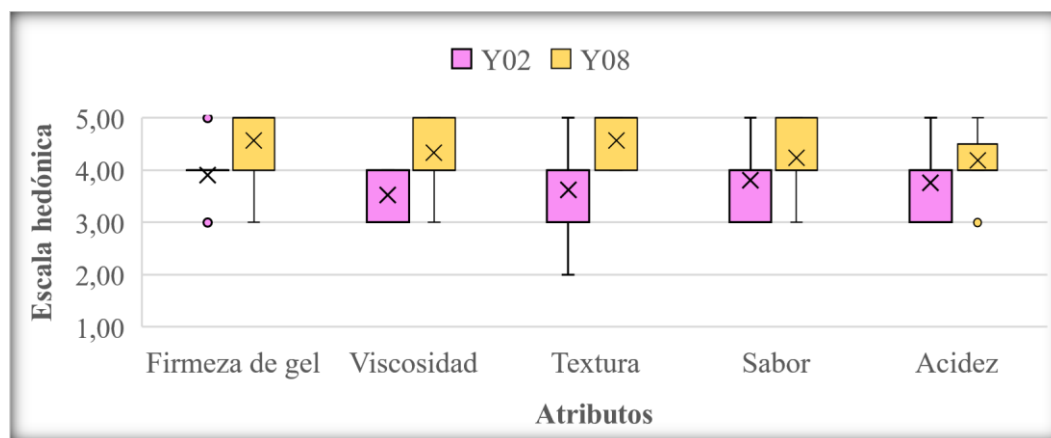
Muestras	Formulación					
	Leche entera (%)	Azúcar (%)	Almidón de achira (%)	Leche en polvo (%)	Gelatina neutra (%)	Cultivo lácteo (%)
<b>Y02</b>	91,28	7,39	0,87	0,46	-	0,0025
<b>Y08</b>	91,60	7,42	0,88	-	0,09	0,0030

**Fuente:** Elaboración propia

Las muestras de la tabla 4.19, fueron evaluadas sensorialmente por 21 jueces no entrenados según se detalla en la figura 3.14; que se incluye una pregunta para los jueces “Según su preferencia: ¿Cuál muestra le gusta más?” detallado en el test 5 del (Anexo B), con el fin de seleccionar la muestra ideal.

#### 4.2.1.4.1 Estadístico caja y bigote para elegir muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira

En la figura 4.6, se muestran el estadístico caja y bigote para los atributos firmeza del gel (tabla C.53); viscosidad (tabla C.57); textura (tabla C.61); acidez (tabla C.65) y sabor (tabla C.69); extraídos del (Anexo C) para elegir muestra ideal en la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.6** Caja y bigote de los atributos sensoriales para elegir muestra ideal en la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira

En la figura 4.6, se puede observar caja y bigote para elegir muestra ideal del atributo firmeza del gel muestra Y08(4,57) tiene la mediana cercana al tercer cuartil 75%; viscosidad Y08(4,33) cercana al segundo cuartil 50%; textura Y08(4,57) cercana al tercer cuartil 75% y acidez Y08(4,19) en el segundo cuartil 50%; es decir la muestra Y08 para la mayoría de los atributos tiene mayor aceptación por los jueces. Sin embargo, para el atributo sabor Y08(4,24) cercano al segundo cuartil 50%; con mayor dispersión de los resultados y que se constituye en una menor aceptación del atributo por los jueces.

#### 4.2.1.4.2 Estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel para elegir muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.20, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel, con el fin de elegir muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira de datos de la tabla C.56 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.20**

*Estadístico de Tukey del atributo firmeza del gel para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira*

Tratamientos	Media	Comparación de medias con D.M.S.	Significancia
Y08-Y02	4,57-3,91=0,66	0,66>0,36	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.20, se puede observar que entre los tratamientos (Y08-Y02), si existe diferencia significativa  $p<0,05$ .

#### **4.2.1.4.3 Estadístico de Tukey del atributo viscosidad para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira**

En la tabla 4.21, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo viscosidad para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira de datos de la tabla C.60 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.21**

*Estadístico de Tukey del atributo viscosidad para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira*

Tratamientos	Media	Comparación de medias con D.M.S.	Significancia
Y08-Y02	4,33-3,52=0,772	0,81>0,31	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.21, se puede observar que para los tratamientos (Y08-Y02), si existe diferencia estadística  $p<0,05$ .

#### **4.2.1.4.4 Estadístico de Tukey del atributo textura para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira**

En la tabla 4.22, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo textura para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira de datos de la tabla C.64 extraídos del (Anexo C).



**Tabla 4.22**

*Estadístico de Tukey del atributo textura para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira*

Tratamientos	Media	Comparación de medias con D.M.S.	Significancia
Y08-Y02	4,57-3,62=0,95	0,95>0,39	Significativo

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 4.22, se puede observar que para los tratamientos (Y08-Y02), si existe diferencia significativa  $p<0,05$ .

#### **4.2.1.4.5 Estadístico de Tukey del atributo acidez para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira**

En la tabla 4.23, se muestran los resultados de la prueba de Tukey del atributo firmeza del gel para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira de datos de la tabla C.68 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.23**

*Estadístico de Tukey del atributo acidez para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira*

Tratamientos	Media	Comparación de medias con D.M.S	Significancia
Y08-Y02	4,19-3,76=0,43	0,43>0,34	Significativo

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 4.23, se puede observar que para los tratamientos (Y08-Y02), si existe diferencia significativa  $p<0,05$ .

#### **4.2.1.4.6 Análisis de varianza del atributo sabor para elegir muestra ideal de yogurt aplanado con almidón de achira**

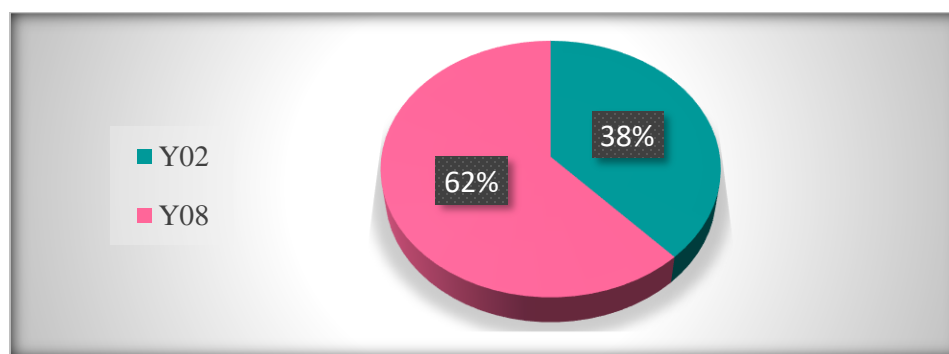
De acuerdo a los resultados del análisis de varianza del atributo sabor tabla C.70 del (Anexo C), se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre las muestras del yogurt aplanado con almidón de achira  $p<0,05$ .

De acuerdo a caja y bigote para la muestra ideal, los atributos firmeza del gel (4,57), viscosidad (4,33), textura (4,57) y acidez (4,19) de la muestra Y08 fueron más aceptados por los jueces. Estadísticamente, se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (Y08 -Y02)  $p<0,05$ . En relación al proceso, se pudo

evidenciar que el añadido de leche en polvo en la formulación influye y modifica de alguna manera en la firmeza del gel, viscosidad, textura y acidez.

#### 4.2.1.4.7 Comparación de la muestra con leche en polvo y sin leche en polvo para seleccionar la muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira

En la figura 4.7, se muestra la preferencia de la muestra (Y02) (Prueba 1) con leche en polvo y muestra (Y08) (Prueba 2) sin leche en polvo de datos extraídos de la tabla C.71 del (Anexo C), en base a la pregunta “¿Cuál muestra le gusta más?” con el fin de seleccionar la muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.7** Preferencia de la muestra con leche en polvo y sin leche en polvo para seleccionar la muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira

En la figura 4.7, se puede observar que la muestra Y08 de la prueba 2 sin leche en polvo tiene el 62% de preferencia; teniendo mayor aceptación por los jueces, en relación al 38% para la muestra Y02 perteneciente a la prueba 1 con leche en polvo.

De acuerdo a la preferencia de los jueces en la selección de la muestra ideal; la muestra Y08 (prueba 2) sin leche en polvo tiene mayor aceptación por los jueces con el 62%.

### 4.3 Diseño factorial 2<sup>3</sup> de las variables en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.24, se muestra la dosificación de la muestra ideal (Y08) sin leche en polvo para realizar el diseño factorial 2<sup>3</sup> en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira; a partir de la cual se elaboró ocho muestras a nivel experimental en base a la variación de los tres factores detallados en la (tabla 3.10) según la matriz de variables detallados en la (tabla 3.11); para la variable respuesta (acidez) y (Ph).

Tabla 4.24

*Dosificación de la muestra ideal de yogurt aflanado con almidón de achira*

Muestras	Formulación				
	Leche entera (%)	Azúcar (%)	Almidón de achira (%)	Gelatina neutra (%)	Cultivo lácteo (%)
Y08	91,60	7,39	0,88	0,09	0,003

Fuente: Elaboración propia

La elaboración de las muestras para el diseño factorial se tomó en cuenta el control del tiempo de fermentación (4 horas y 30 minutos) y temperatura de fermentación (42°C).

#### 4.3.1 Diseño factorial de la variable respuesta (acidez) en la etapa de fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.25, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial  $2^3$  para la variable respuesta acidez; expresada en porcentaje de ácido láctico técnica detallada en el Anexo F.2 extraído del (Anexo F) para la etapa de fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira de datos de la tabla E.2 extraídos del (Anexo E).

Tabla 4.25

*Análisis de varianza del diseño factorial  $2^3$  para la variable acidez en la etapa de fermentación*

Fuente de Variación (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados Medios (CM)	Fisher calculado $F_{cal}$	Fisher tabulado $F_{tab}$
TOTAL	0,02	15	-	-	-
Factor (A)	$9,00 \times 10^{-4}$	1	$9,00 \times 10^{-4}$	10,29	11,26
Factor (G)	$2,25 \times 10^{-4}$	1	$2,25 \times 10^{-4}$	2,57	11,26
Factor (C)	$9,03 \times 10^{-3}$	1	$9,03 \times 10^{-3}$	103,14**	11,26
Interacción (AG)	$6,25 \times 10^{-4}$	1	$6,25 \times 10^{-4}$	7,14	11,26
Interacción (AC)	$2,50 \times 10^{-5}$	1	$2,50 \times 10^{-5}$	0,29	11,26
Interacción (GC)	$9,00 \times 10^{-4}$	1	$9,00 \times 10^{-4}$	10,29	11,26
Interacción (AGC)	$2,50 \times 10^{-3}$	1	$2,50 \times 10^{-3}$	28,57*	11,26
Error	$7,00 \times 10^{-4}$	8	$8,75 \times 10^{-5}$	-	-

Fuente: Elaboración propia

\*\* Altamente significativo \* Significativo

En tabla 4.25, se puede observar que el factor (C) porcentaje de cultivo lácteo ( $F_{cal}=103,14 > F_{tab}=11,26$ ), es altamente significativo e intersección (AGC) (almidón de achira-gelatina neutra-cultivo lácteo) ( $F_{cal}=28,57 > F_{tab}=11,26$ ), es significativo y tienen

incidencia en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira; y no así los demás factores e interacciones que intervienen en el proceso  $p < 0,01$ .

De acuerdo al diseño factorial  $2^3$  de la variable respuesta acidez; el factor (C) porcentaje de cultivo lácteo, es altamente significativo e intersección (AGC) almidón de achira-gelatina neutra-cultivo lácteo, es significativo en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira  $p < 0,01$ .

#### 4.3.2 Diseño factorial de la variable respuesta (pH) en la etapa de fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.26, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial  $2^3$  para la variable respuesta pH; técnica detallada en el Anexo F.3 extraído del (Anexo F) para la etapa de fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira de datos de la tabla E.4 extraído del (Anexo E).

**Tabla 4.26**

*Análisis de varianza del diseño factorial  $2^3$  para la variable pH en la etapa de fermentación*

Fuente de Variación (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados Medios (CM)	Fisher calculado $F_{cal}$	Fisher tabulado $F_{tab}$
<b>TOTAL</b>	0,06	15	-	-	-
<b>Factor (A)</b>	$1,06 \cdot 10^{-3}$	1	$1,06 \times 10^{-3}$	1,77	11,26
<b>Factor (G)</b>	$1,81 \cdot 10^{-3}$	1	$1,81 \times 10^{-3}$	3,03	11,26
<b>Factor (C)</b>	0,05	1	0,05	78,94**	11,26
<b>Interacción (AG)</b>	$6,25 \cdot 10^{-6}$	1	$6,25 \times 10^{-6}$	0,01	11,26
<b>Interacción (AC)</b>	$7,56 \cdot 10^{-4}$	1	$7,56 \times 10^{-4}$	1,27	11,26
<b>Interacción (GC)</b>	$3,31 \cdot 10^{-3}$	1	$3,31 \times 10^{-3}$	5,55	11,26
<b>Interacción (AGC)</b>	$1,41 \cdot 10^{-3}$	1	$1,41 \times 10^{-3}$	2,36	11,26
<b>Error</b>	$4,76 \cdot 10^{-3}$	8	$5,95 \times 10^{-4}$	-	-

Fuente: Elaboración propia

\*\* Altamente significativo

En la tabla 4.26, se puede observar que el factor (C) porcentaje de cultivo lácteo ( $F_{cal}=78,94 > F_{tab}=11,26$ ), es altamente significativo en la etapa de fermentación; y no así los demás factores e interacciones que intervienen en el proceso  $p < 0,01$ .

De acuerdo al diseño factorial  $2^3$  de la variable respuesta pH; el factor (C) porcentaje de cultivo lácteo, es altamente significativo en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira  $p < 0,01$ .

#### 4.4 Control del parámetro viscosidad de las muestras experimentales de yogurt aplanado con almidón de achira

En la tabla 4.27, se muestran los valores del control de la viscosidad; expresada en centipoise (cP) técnica detallada en el Anexo F.5 extraído del (Anexo F) de las ocho muestras experimentales de yogurt aplanado con almidón de achira, elaboradas en el diseño factorial del presente trabajo; con el fin de determinar la viscosidad y analizar el comportamiento de las muestras (b) y (bc) con el cambio de la temperatura.

**Tabla 4.27**

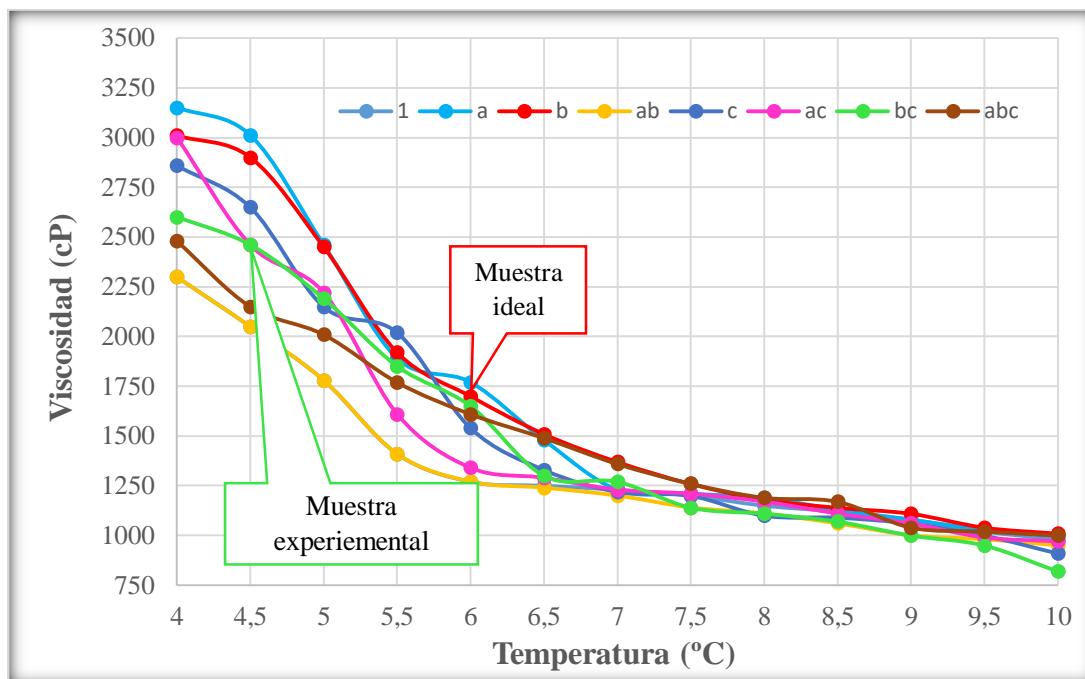
*Control de viscosidad de muestras experimentales de yogurt aplanado con almidón de achira*

Temperatura °C	Viscosidad (cP)							
	Muestras experimentales							
	(1)	a	b	ab	c	ac	bc	abc
4,00	2300	3150	3010	2300	2860	3000	2600	2480
4,50	2050	3010	2900	2050	2650	2460	2460	2150
5,00	1780	2460	2450	1780	2150	2220	2190	2010
5,50	1410	1890	1920	1410	2020	1610	1850	1770
6,00	1270	1770	1700	1270	1540	1340	1650	1610
6,50	1250	1480	1510	1240	1330	1290	1300	1490
7,00	1230	1230	1370	1200	1220	1230	1270	1360
7,50	1200	1210	1260	1140	1200	1210	1140	1260
8,00	1150	1190	1180	1110	1100	1170	1110	1190
8,50	1120	1130	1140	1060	1090	1110	1070	1170
9,00	1080	1080	1110	1000	1060	1060	1000	1040
9,50	1020	1030	1040	980	1000	990	950	1020
10,00	980	1000	1010	950	910	970	820	1000

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados de la tabla 4.27, se tomaron en cuenta los valores dentro del rango óptimo de medición (<10% y >90%) a una velocidad de giro 100 rpm con un husillo codificado como (L5) de las ocho muestras de yogurt aplanado haciendo referencia principalmente a las muestras de las pruebas experimentales donde (b = muestra ideal) y (bc = muestra del diseño experimental) con significancia en el diseño factorial.

En la figura 4.8, se muestra la variación de la viscosidad expresada en centipoise (cP) en función de la temperatura (°C) de las muestras experimentales de yogurt aplanado con almidón de achira; en base a los resultados de la tabla 4.27.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.8** Variación de la viscosidad versus temperatura de muestras experimentales de yogurt afianado con almidón de achira

En la figura 4.8, se observa la variación de la viscosidad de la muestra (b = muestra ideal (Y08)) y (bc = muestra experimental (YD7)) con respecto a las demás pruebas experimentales; inicialmente para la temperatura de 4°C la muestra (b) presenta (3010 cP) y la muestra (bc) (2600 cP); mientras aumenta la temperatura la viscosidad disminuye contantemente; a la temperatura de (7°C) la muestra (b) presenta (1370 cP) y la muestra (bc) (1270 cP); finalmente la viscosidad continua descendiendo ligeramente, a temperatura (10°C) la muestra (b) presenta (1010 cP) y la muestra (bc) (820 cP), en un tiempo de 30 minutos; donde se observa que la variación de la viscosidad de la muestra ideal (b) se presenta con menor variación con respecto al cambio de temperatura y más viscosa comparada con las demás muestras experimentales.

De acuerdo a la variación de la viscosidad versus temperatura de la muestra ideal (b) y muestra experimental (bc) a temperatura de 4°C; la viscosidad de la muestra (b) es (3010 Cp) y de (bc) (2600 Cp); mientras aumenta la temperatura a 100 rpm la viscosidad disminuye; donde la variación de la viscosidad de la muestra ideal (b) se

presenta con menor variación con respecto al cambio de temperatura y más viscosa comparada con las demás muestras experimentales.

#### **4.5 Control de los parámetros acidez, pH y sólidos solubles en la etapa de fermentación para la elaboración yogurt aflanado con almidón de achira**

Una vez definidas las variables en la etapa de fermentación; se realizó el control de los parámetros acidez, pH y sólidos solubles; durante la etapa de fermentación de la muestra ideal (Y08) y muestra experimental, que fue extraída de las ocho corridas del diseño factorial, en la cual el factor porcentaje de cultivo lácteo tubo significancia y codificada como (YD7); con el fin de observar la influencia de la variable porcentaje de cultivo lácteo durante la fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira.

##### **4.5.1 Control de acidez en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira**

En la tabla 4.28, se muestran los valores del control de acidez; expresada en (porcentaje de ácido láctico) técnica detallada en el Anexo F.2 extraído del (Anexo F) para la etapa de fermentación de dos muestras de yogurt aflanado con almidón de achira en intervalos de 30 minutos.

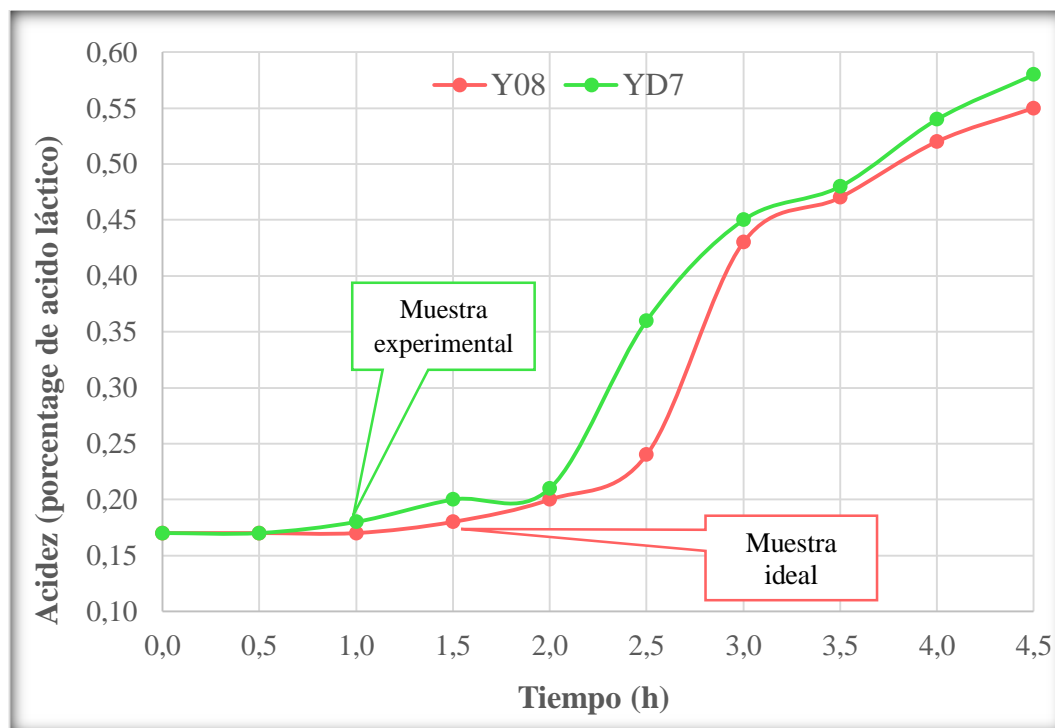
**Tabla 4.28**

*Control de acidez en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira*

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Acidez (%) (porcentaje de ácido láctico)</b>	
	<b>Y08</b>	<b>YD7</b>
0,0	0,17	0,17
0,5	0,17	0,17
1,0	0,17	0,18
1,5	0,18	0,20
2,0	0,20	0,21
2,5	0,24	0,36
3,0	0,43	0,45
3,5	0,47	0,48
4,0	0,52	0,54
4,5	0,55	0,58

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.9, se muestra la variación de acidez expresada en (porcentaje de ácido láctico) en función del tiempo de fermentación de la muestra ideal (Y08) y muestra experimental (YD7) de yogurt aflanado con almidón de achira; en base a los resultados de la tabla 4.28.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.9** Variación de acidez en función del tiempo de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira

En la figura 4.9, se observa la variación de acidez durante la etapa de fermentación de las muestras Y08 y YD7, inicialmente a (0,0horas) ambas muestras presentan acidez de (0,16%); para tiempo (1,0-2,0)horas, se incrementa ligeramente el valor de acidez para Y08 entre (0,19-0,20)% y YD7 entre (0,19-0,21)%; para tiempo (2,5-3,5)horas, se incrementa el valor de la acidez para Y08 entre (0,24-0,47)% y rápidamente para YD7 entre (0,36-0,48)%; finalmente entre (4,0-4,5)horas, el valor de acidez incrementa para la muestra Y08 entre (0,52-0,56)% y para YD7 entre (0,55-0,58)%.

De acuerdo al seguimiento de la variación de acidez durante la etapa de fermentación, para la muestra ideal (Y08) y muestra experimental (YD7); la acidez a tiempo



(0,0horas) ambas muestras presentan (0,16%); pero a medida que transcurre (4,50horas) de fermentación incrementa la acidez, para la muestra Y08(0,56%) y para YD7(0,58%); evidenciando que la variación del porcentaje de cultivo láctico si influye en la etapa de fermentación.

#### 4.5.2 Control de pH en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.29, se muestran los valores del control de pH; técnica detallada en el Anexo F.3 extraído del (Anexo F) para la etapa de fermentación de dos muestras de yogurt aflanado con almidón de achira en intervalos de 30 minutos.

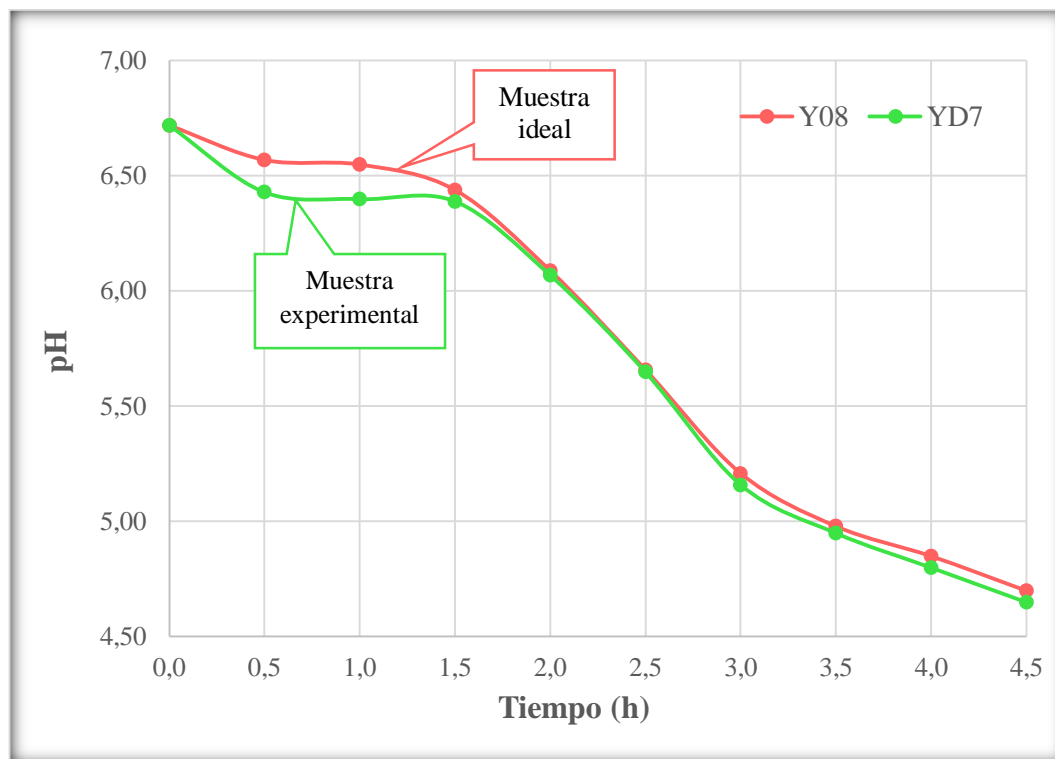
**Tabla 4.29**

*Control de pH en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira*

Tiempo (h)	pH	
	Y08	YD7
0,0	6,72	6,72
0,5	6,57	6,43
1,0	6,55	6,40
1,5	6,44	6,39
2,0	6,09	6,07
2,5	5,66	5,65
3,0	5,21	5,16
3,5	4,98	4,95
4,0	4,85	4,80
4,5	4,70	4,65

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.10, se muestran la variación de pH en función del tiempo de fermentación de la muestra ideal (Y08) y muestra experimental (YD7) de yogurt aflanado con almidón de achira; en base a los resultados de la tabla 4.29.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.10** Variación de pH en función del tiempo de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira

En la figura 4.10, se observa la variación del pH durante la etapa de fermentación de las muestras Y08 y YD7; inicialmente a (0,0horas) ambas muestras presentan Ph de (6,72); para tiempo (0,5-1,5)horas, se disminuye ligeramente el valor de pH para Y08 entre (6,57-6,44) y YD7 entre (6,43-6,39); para tiempo (2,0-3,5) horas, se disminuye el valor del pH para Y08 entre (6,09-4,98) y rápidamente para YD7 entre (6,07-4,95); finalmente entre (4,0-4,5)horas, el valor del pH disminuye para la muestra Y08 entre (4,85-4,70) y para YD7 entre (4,80-4,65).

De acuerdo al seguimiento de la variación del pH durante la etapa de fermentación, para la muestra ideal (Y08) y muestra experimental (YD7); el pH a tiempo (0,0horas) ambas muestras presentan (6,72); pero a medida que transcurre (4,50horas) de fermentación disminuye el pH, para la muestra Y08(4,70) y para YD7(4,65); evidenciando que la variación del porcentaje de cultivo láctico si influye en la etapa de fermentación.

### 4.5.3 Control de sólidos solubles en la etapa de fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.30, se muestran los valores del control de sólidos solubles (°Brix); técnica detallada en el Anexo F.4 extraído del (Anexo F) para la etapa de fermentación de dos muestras de yogurt aflanado con almidón de achira en intervalos de 30 minutos.

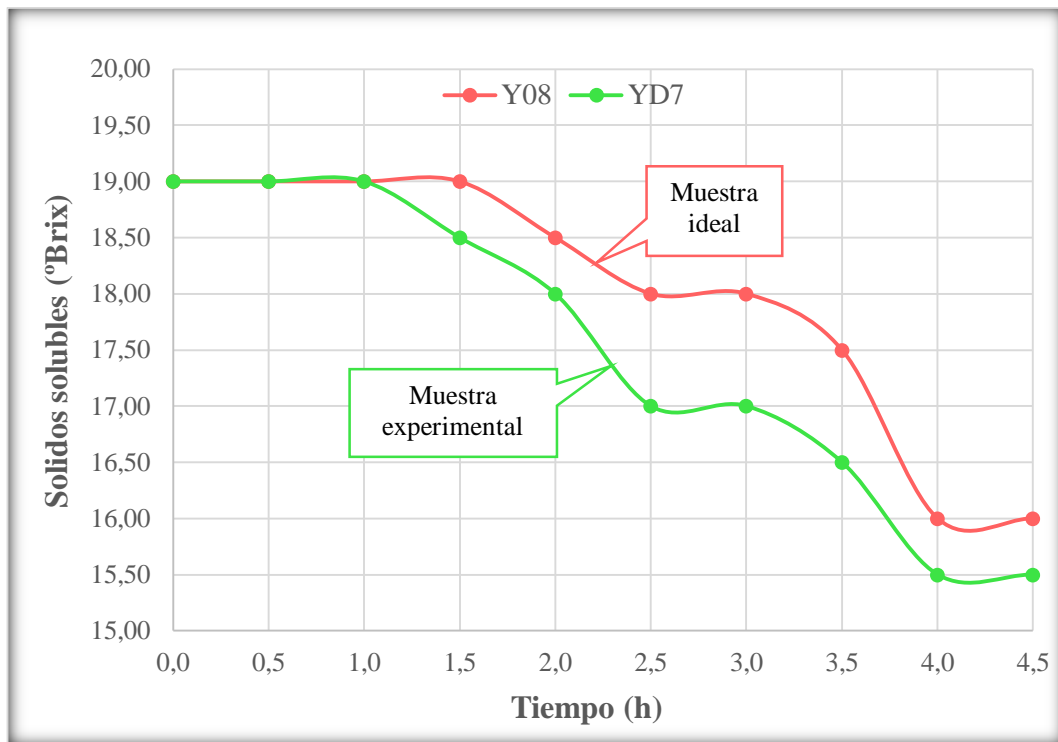
**Tabla 4.30**

*Control de sólidos solubles en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira*

Tiempo (h)	Sólidos solubles (°Brix)	
	Y08	YD7
0,0	19,00	19,00
0,5	19,00	19,00
1,0	19,00	19,00
1,5	19,00	18,50
2,0	18,50	18,00
2,5	18,00	17,00
3,0	18,00	17,00
3,5	17,50	16,50
4,0	16,00	15,50
4,5	16,00	15,50

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.11, se muestran la variación de sólidos solubles expresados en (°Brix) en función del tiempo de fermentación de la muestra ideal Y08 y muestra experimental YD7 de yogurt aflanado con almidón de achira; en base a los resultados de la tabla 4.30.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.11** Variación de sólidos solubles en función del tiempo de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira

En la figura 4.11, se observa la variación de los sólidos solubles durante la etapa de fermentación de la muestra Y08 y YD7; inicialmente a (0,0horas) ambas muestras presentan sólidos solubles de (19,00°Brix); para tiempo (1,5-2,5)horas, se disminuye el valor de los sólidos solubles para Y08 entre (18,50-17,00)°Brix y YD7 entre (18,50-17,00)°Brix; para tiempo (3,0-4,0)horas, se disminuye el valor de los sólidos solubles rápidamente para Y08 entre (18,00-16,00)°Brix y para YD7 entre (17,00-15,50)°Brix; finalmente a (4,5horas), el valor de los sólidos solubles disminuye para la muestra Y08 a (16,00°Brix) y para YD7 a (15,50°Brix).

De acuerdo al seguimiento de la variación de sólidos solubles durante la etapa de fermentación, para la muestra ideal (Y08) y muestra experimental (YD7); los sólidos solubles a tiempo (0,0horas) ambas muestras presentan (19,00°Brix); pero a medida que transcurre (4,50horas) de fermentación disminuyen los sólidos solubles, para la muestra Y08(16,00°Brix) y para YD7(15,50°Brix); evidenciando que la variación del porcentaje de cultivo láctico influye en la etapa de fermentación.

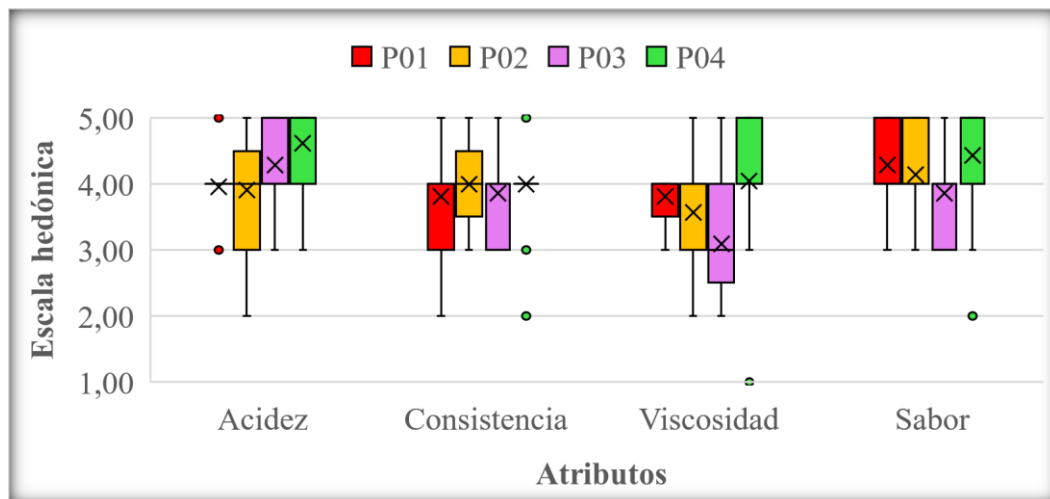
#### 4.6 Elección de muestra referencia de yogurt aflanado

Para la elección de muestra de referencia en el presente trabajo, se tomó en cuenta yogurt aflanado con almidón de maíz de la industria (PIL TARIJA) de sabor durazno (P01), vainilla (P02), frutilla (P03) y coco (P04); debido a que es la única empresa de lácteo local que elabora este tipo de yogurt. La elección de muestra referencia, se realizó con el fin de poder determinar los parámetros de (acidez y viscosidad) para tener como referencia en la determinación de estos parámetros en el proceso de la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira.

Las muestras de yogurt aflanado con almidón de maíz de sabor durazno (P01), Vainilla (P02), frutilla (P03) y coco (P04); fueron evaluadas sensorialmente por 21 jueces no entrenados, según se detalla en la Figura 3.14.

##### 4.6.1 Estadístico caja y bigote para la elección de muestra referencia

En la figura 4.12, se muestran el estadístico caja y bigote para los atributos acidez en (tabla C.71), viscosidad (tabla C.75), consistencia (tabla C.79) y sabor (tabla C.80); extraídos del (Anexo C) para la elección de muestra referencia.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.12** Caja y bigote de los atributos sensoriales para elección de muestra referencia

En la figura 4.12, se puede observar caja y bigote para la elección de muestra referencia del atributo acidez muestra P04(4,62) se encuentra cerca al tercer cuartil 75%; viscosidad P04(4,05) en el primer cuartil 25% y consistencia P04(4,00) se encuentra con el 100% de los datos concentrados en la escala cuatro; es decir la muestra P04 para los atributos tienen mayor aceptación por los jueces. Sin embargo, para el atributo sabor P04(4,43) se ubica en el segundo cuartil 50%; con mayor dispersión de los resultados y teniendo una menor aceptación del atributo por los jueces.

#### 4.6.2 Estadístico de Tukey del atributo acidez para elección de muestra referencia

En la tabla 4.31, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo acidez para la elección de muestra referencia de datos de la tabla C.74 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.31**

##### *Estadístico de Tukey del atributo acidez para elección de muestra referencia*

Tratamientos	Medias	Comparación de medias con D.M.S.	Significancia
P04-P03	4,62-4,29=0,33	0,33<0,38	No hay diferencia
P04- P01	4,62-3,95=0,67	0,67>0,38	Si hay diferencia
P04- P02	4,62-3,91=0,71	0,71>0,38	Si hay diferencia
P03- P01	4,29-3,95=0,33	0,33<0,38	No hay diferencia
P03- P02	4,29-3,91=0,38	0,38>0,38	Si hay diferencia
P01- P02	3,95-3,91=0,05	0,05<0,38	No hay diferencia

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.31, se puede observar que entre los tratamientos (P04-P01), (P04-P02), (P03-P02), si existe diferencia significativa. Sin embargo, para los tratamientos (P04-P03), (P03-P01), (P01-P02) no existe diferencia significativa  $p < 0,05$ .

#### 4.6.3 Estadístico de Tukey del atributo viscosidad para elección de muestra referencia

En la tabla 4.32, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo viscosidad para la elección de muestra referencia de datos de la tabla C.78 extraídos del (Anexo C).

**Tabla 4.32***Estadístico de Tukey del atributo viscosidad para elección de muestra referencia*

Tratamientos	Medias	Comparación de medias con D.M.S	Significancia
P04-P01	4,05-3,81=0,24	0,24<0,45	No hay diferencia
P04- P02	4,05-3,57=0,48	0,48>0,45	Si hay diferencia
P04- P03	4,05-3,10=0,95	0,95>0,45	Si hay diferencia
P01- P02	3,81-3,57=0,24	0,24<0,45	No hay diferencia
P01- P03	3,81-3,10=0,72	0,72>0,45	Si hay diferencia
P02- P03	3,57-3,10=0,48	0,48<0,45	Si hay diferencia

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.32, se puede observar que entre los tratamientos (P04-P02), (P04-P03), (P01-P03), (P02-P03), si existe diferencia significativa. Sin embargo, para los tratamientos (P04-P01), (P01-P02) no existe diferencia significativa  $p<0,05$ .

#### **4.6.4 Análisis de varianza de los atributos consistencia y sabor para elección de muestra referencia**

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza de los atributos consistencia (tabla C.80) y sabor (tabla C.82) del Anexo C, se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre las muestras del yogurt aplanado con almidón de maíz  $p<0,05$ .

De acuerdo a caja y bigote para la elección de muestra referencia; los atributos acidez (4,62) y viscosidad (4,05) la muestra P04 (sabor coco) fue más aceptada por los jueces. Estadísticamente, se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (P04 -P02) (P04 -P03)  $p<0,05$ .

#### **4.7 Control de la viscosidad de la muestra ideal, muestra experimental de yogurt aplanado con almidón de achira y muestra referencia**

En la tabla 4.33, se muestran los valores del control de viscosidad; expresada en centipoise (cP) técnica detallada en el Anexo F.5 extraído del (Anexo F); de muestra ideal (Y08), muestra experimental codificada como (YD7) extraída del diseño factorial y muestra referencia (P04); con el fin de determinar la viscosidad y analizar la consistencia viscosa de las muestras de yogurt aplanado con almidón de achira comparadas con la muestra referencia.

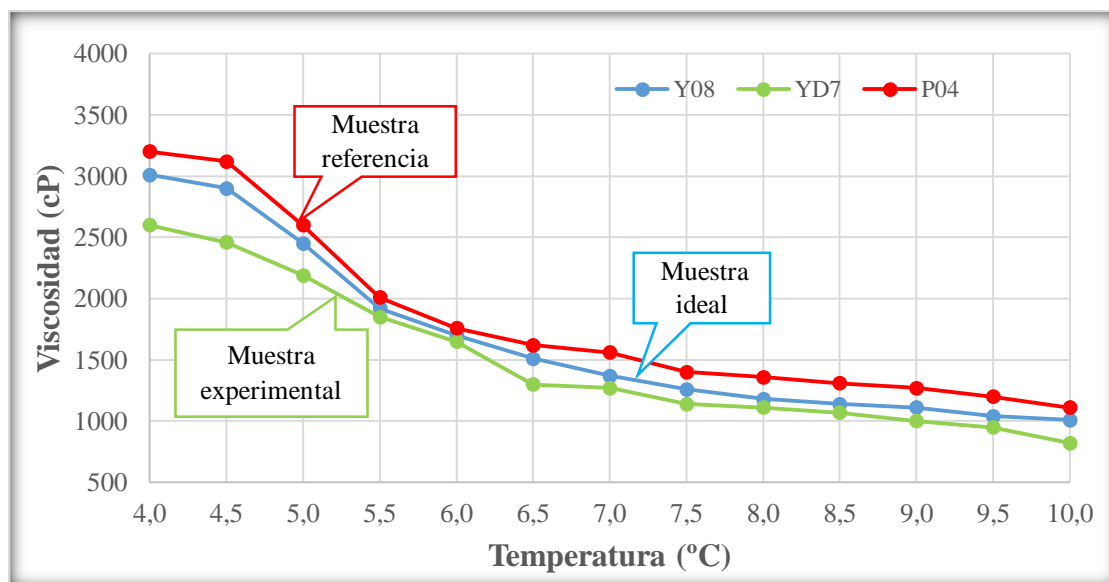
**Tabla 4.33**

*Control de viscosidad de la muestra ideal y experimental de yogurt aflanado con almidón de achira y muestra referencia*

Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)		
	Y08	YD7	P04
4,0	3010	2600	3200
4,5	2900	2050	2800
5,0	2450	1780	2600
5,5	1920	1410	2010
6,0	1700	1276	1760
6,5	1510	1240	1620
7,0	1370	1200	1560
7,5	1260	1140	1400
8,0	1180	1110	1360
8,5	1140	1060	1310
9,0	1110	1000	1270
9,5	1040	980	1200
10,0	1010	950	1110

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.13, se muestra la variación de la viscosidad expresada en centipoise (cP) en función de la temperatura (°C) de la muestra ideal (Y08), muestra experimental (YD7) de yogurt aflanado con almidón de achira y muestra referencia (P04); en base a los resultados de la tabla 4.33.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.13** Variación de la viscosidad versus temperatura de muestra ideal, muestra experimental y muestra referencia

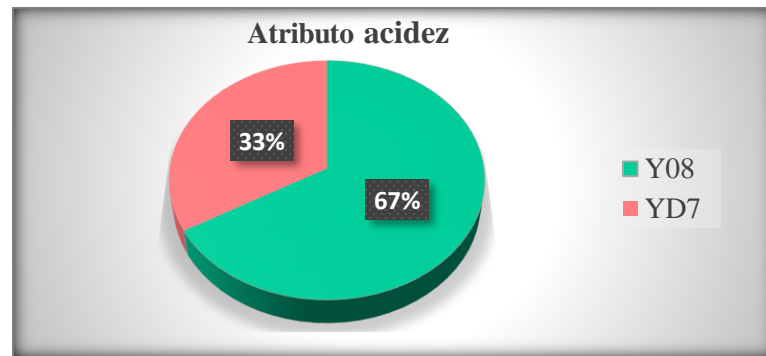


En la figura 4.13, se observan las curvas de variación de viscosidad versus temperatura de las muestras Y08 ,YD7 y P04; inicialmente a temperatura de (4°C) el valor de viscosidad de la muestra Y08 es (3010cP), para YD7(2600cP) y para P04(3200cP); a medida que aumenta la temperatura a (7°C) de cada muestra la viscosidad disminuye para Y08(1370cP), para YD7(1200cP) y para P04(1560cP); finalmente a temperatura de 10°C la viscosidad de la muestra Y08 es (1010cP), de YD7(950cP) y de P04(1110cP); en el transcurso de un tiempo de 30 minutos a 100 revoluciones por minutos; donde se observa que la curva de la muestra (Y08) presenta una viscosidad y consistencia cercana a la curva de la muestra referencia (P04).

De acuerdo a la curva de variación de la viscosidad versus temperatura de la muestra ideal (Y08), muestra experimental (YD7) y muestra referencia (P04); la viscosidad a (4°C) para Y08 es (3010cP), YD7(2600cP) y para P04(3200cP); a medida que sube la temperatura a 100 rpm disminuye la viscosidad; donde la muestra ideal (Y08) presenta una viscosidad y consistencia cercana a la muestra referencia (P04).

#### **4.8 Evaluación sensorial de comparación de muestra ideal y muestra experimental de yogurt aflanado con almidón de achira**

En la figura 4.14, se muestran los resultados de preferencia de la muestra ideal (Y08) y muestra experimental (YD7) de yogurt aflanado con almidón de achira comparados con la muestra referencia (P04) mediante una prueba sensorial dúo trio de datos de la tabla D.11 extraídos del (Anexo D); con el fin de evidenciar la preferencia por el atributo acidez de las muestras de yogurt aflanado con almidón de achira comparados con la muestra referencia. Las muestras fueron evaluadas sensorialmente por 21 jueces no entrenados, según se detalla en la figura 3.14.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.14** Preferencia del atributo acidez de la muestra ideal y muestra experimental

En la figura 4.14, se puede observar que el 67% de los jueces tuvieron mayor preferencia por la muestra (Y08) en relación a la muestra (YD7) con el 33%.

#### 4.8.1 Estadístico chi cuadrado ( $X^2$ ) para la categorización del atributo acidez de muestra ideal y experimental del yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.35, se muestran los resultados del análisis estadístico chi cuadrado ( $X^2$ ) para la categorización del atributo acidez de la muestra ideal (Y08) y muestra experimental (YD7) de yogurt aflanado con almidón de achira comparados con la muestra referencia (P04) de datos de la Tabla D.1.3 extraídos del (Anexo D).

**Tabla 4.35**

*Estadístico chi cuadrado ( $X^2$ ) para la categorización del atributo acidez de la muestra ideal y experimental*

Chi cuadrada calculada ( $X^2_{Cal}$ )	Chi cuadrada tabulada ( $X^2_{Tab}$ )	Comparación	Significancia
11,36	3,84	11,36 > 3,84	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.35, se puede observar para la categorización del atributo acidez de la muestra ideal (Y08) y experimental (YD7) donde ( $X^2_{Cal}=11,36 > X^2_{Tab}=3,84$ ), por lo cual existe diferencia significativa  $p < 0,05$ .

De acuerdo a la preferencia de los jueces por la muestra ideal y muestra experimental de yogurt aflanado con almidón de achira comparadas con muestra referencia; se observa que la muestra Y08 tiene mayor aceptación por los jueces con el 67%;

estadísticamente si hay diferencia significativa entre la categorización del atributo acidez.

#### 4.9 Caracterización del producto final yogurt aflanado con almidón de achira

Para la caracterización del producto final yogurt aflanado con almidón de achira, se tomó en cuenta los resultados del análisis fisicoquímico, análisis de micronutrientes y análisis microbiológico del yogurt aflanado con almidón de achira, y los cuales se detallan a continuación:

##### 4.9.1 Análisis fisicoquímico del yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.36, se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del yogurt aflanado con almidón de achira de datos extraídos del Anexo A.3 (Anexo A).

**Tabla 4.36**

*Análisis fisicoquímico del yogurt aflanado con almidón de achira*

Parámetros	Unidad	Resultado	Límites permisibles	
			Máximo	Mínimo
Acidez (ácido láctico)	%	0,71	Sin referencia	Sin referencia
Cenizas	%	0,63	Sin referencia	Sin referencia
Densidad relativa (20°C)	-	1,06	Sin referencia	Sin referencia
Materia grasa	%	4,48	Sin referencia	Sin referencia
Hidratos de carbono	%	14,92	Sin referencia	Sin referencia
Humedad	%	76,90	Sin referencia	Sin referencia
pH (20°C)	-	4,33	Sin referencia	Sin referencia
Proteína total (Nx6,38)	%	3,07	Sin referencia	Sin referencia
Sólidos solubles	°Brix	17,30	Sin referencia	Sin referencia
Sólidos totales	%	23,10	Sin referencia	Sin referencia
Valor energético	Kcal/100g	112,28	Sin referencia	Sin referencia

**Fuente:** CEANID, 2019

En la tabla 4.36, se observa que el yogurt aflanado con almidón de achira tiene una acidez de 0,71% (ácido láctico), cenizas 0,63%, densidad relativa 1,06 (20°C), materia grasa 4,48%, hidratos de carbono 14,92%, humedad 76,90%, pH 4,33 (20°C), proteína total 3,07 (Nx,38) %, sólidos totales 23,10%, Sólidos solubles 17,30 °Brix; valor energético 112,28 Kcal/100g.

#### 4.9.1.1 Análisis de micronutrientes de yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.37, se muestran los resultados del análisis de micronutrientes del yogurt aflanado con almidón de achira de datos extraídos del Anexo A.3 (Anexo A).

**Tabla 4.37**

##### *Análisis de los micronutrientes del yogurt aflanado con almidón de achira*

Parámetros	Unidad	Resultado	Límites permisibles	
			Máximo	Mínimo
Calcio	mg/100g	122,00	Sin referencia	Sin referencia
Fosforo	mg/100g	71,70	Sin referencia	Sin referencia
Magnesio total	mg/100g	9,00	Sin referencia	Sin referencia

**Fuente:** CEANID, 2019

En la tabla 4.37, se observa que el yogurt aflanado con almidón de achira tiene micronutrientes como calcio 122,00 mg/100g, fosforo 71,70 mg/100g, magnesio total 9,00 mg/100g.

#### 4.9.2 Análisis microbiológico del yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.38, se muestran los resultados de los análisis microbiológicos del yogurt aflanado con almidón de achira de datos extraídos del Anexo A.3 (Anexo A).

**Tabla 4.38**

##### *Análisis microbiológico del yogurt aflanado con almidón de achira*

Parámetros	Unidad	Resultados	
Coliformes fecales	UFC/ml	$< 1,0 \times 10^1$ (*)	No se observa desarrollo de colonias
Escherichia coli	UFC/ml	$< 1,0 \times 10^1$ (*)	No se observa desarrollo de colonias
Moho y levaduras	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)	No se observa desarrollo de colonias

**Fuente:** CEANID, 2019

En la tabla 4.38, se observa en el yogurt aflanado con almidón de achira la presencia microbiológica de coliformes fecales  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/ml, escherichia coli  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/ml, moho levaduras  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g; no observándose desarrollo de colonias.

#### 4.10 Control de los parámetros acidez, pH y sólidos solubles durante el almacenamiento del producto final yogurt aflanado con almidón de achira

Para el control de los parámetros acidez, pH y sólidos solubles, se realizó durante el almacenamiento de 28 días de dos muestras de yogurt aflanado con almidón de achira a partir de la muestra ideal (Y08); sin conservante (Y08S) y con conservante (benzoato de sodio y sorbato de potasio) (Y08C); con el fin de realizar un seguimiento de los parámetros del producto final durante su almacenamiento en refrigeración a temperatura de 4°C.

##### 4.10.1 Control de acidez durante el almacenamiento del producto final yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.39, se muestran los valores del control de acidez; expresada en (porcentaje de ácido láctico) técnica detallada en el Anexo F.2 extraído del (Anexo F); durante el almacenamiento de dos muestras de yogurt aflanado con almidón de achira sin conservante (Y08S) y con conservante (Y08C).

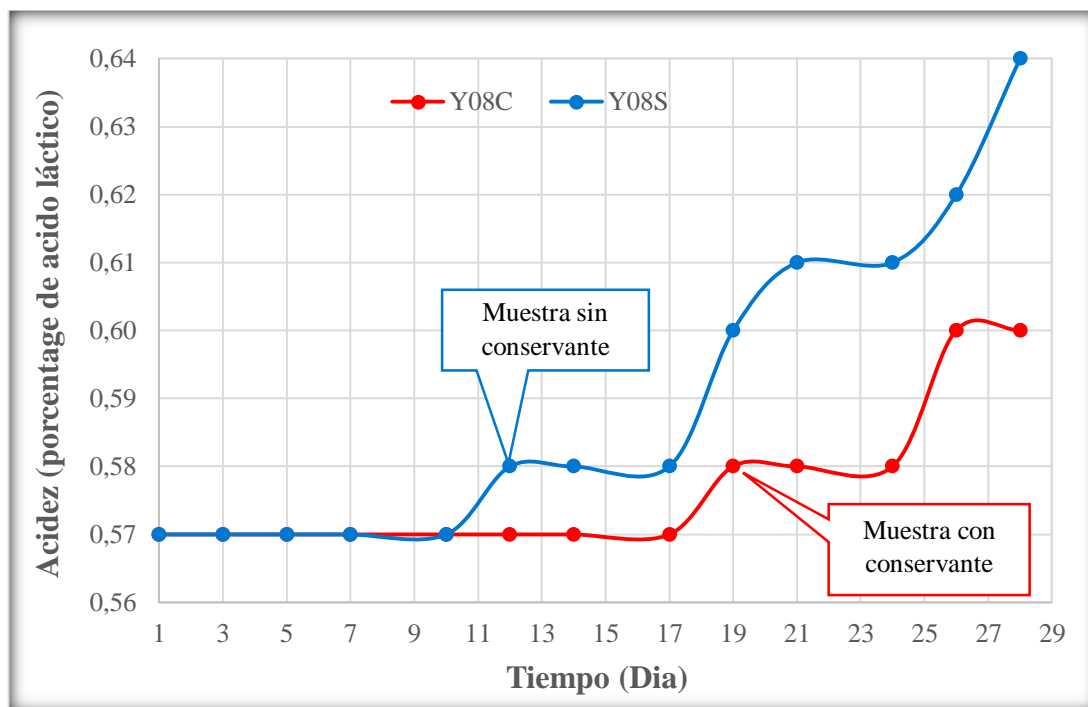
**Tabla 4.39**

*Control de acidez durante el almacenamiento del yogurt aflanado con almidón de achira*

Tiempo (días)	Acidez (%) (porcentaje de ácido láctico)	
	Y08S	Y08C
1	0,57	0,57
3	0,57	0,57
5	0,57	0,57
7	0,57	0,57
10	0,57	0,57
12	0,58	0,57
14	0,58	0,57
17	0,58	0,57
19	0,60	0,58
21	0,61	0,58
24	0,61	0,58
26	0,62	0,60
28	0,64	0,60

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.15, se muestra la variación de acidez expresada en (porcentaje de ácido láctico) durante 28 días de almacenamiento de la muestra con conservante (Y08C) y la muestra sin conservante (Y08S) de yogurt aflanado con almidón de achira; en base a los resultados de la tabla 4.39.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.15** Variación de acidez en función del tiempo de almacenamiento del yogurt aflanado con almidón de achira con conservante y sin conservante

En la figura 4.15, se observa la variación de acidez durante el tiempo de almacenamiento de las muestras Y08C y Y08S; inicialmente a (1 día) ambas muestras presentan acidez de (0,57%); a los (12 días) se observa que el valor de acidez incrementa para Y08S(0,58%) y a los (19 días) para Y08C(0,58%); finalmente a los (28 días) el valor de acidez incrementa para la muestra Y08S(0,64%) y para la muestra Y08C(0,60%).

De acuerdo a seguimiento de la variación de la acidez durante el almacenamiento de la muestra sin conservante (Y08S) y la muestra con conservante (Y08C), la acidez a (1 día) ambas muestras presentan (0,57%); pero a medida que transcurre (28 días) de almacenamiento incrementa la acidez, para la muestra Y08S(0,64%) y para

Y08C(0,60%); evidenciando que la muestra (Y08C) con conservante tiende a mantener su acidez más estable en función al tiempo de almacenamiento.

#### 4.10.2 Control del pH durante el almacenamiento del producto final yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.40, se muestran los valores del control del pH técnica detallada en el Anexo F.3 extraído del (Anexo F); durante el almacenamiento de dos muestras de yogurt aflanado con almidón de achira sin conservante (Y08S) y con conservante (Y08C).

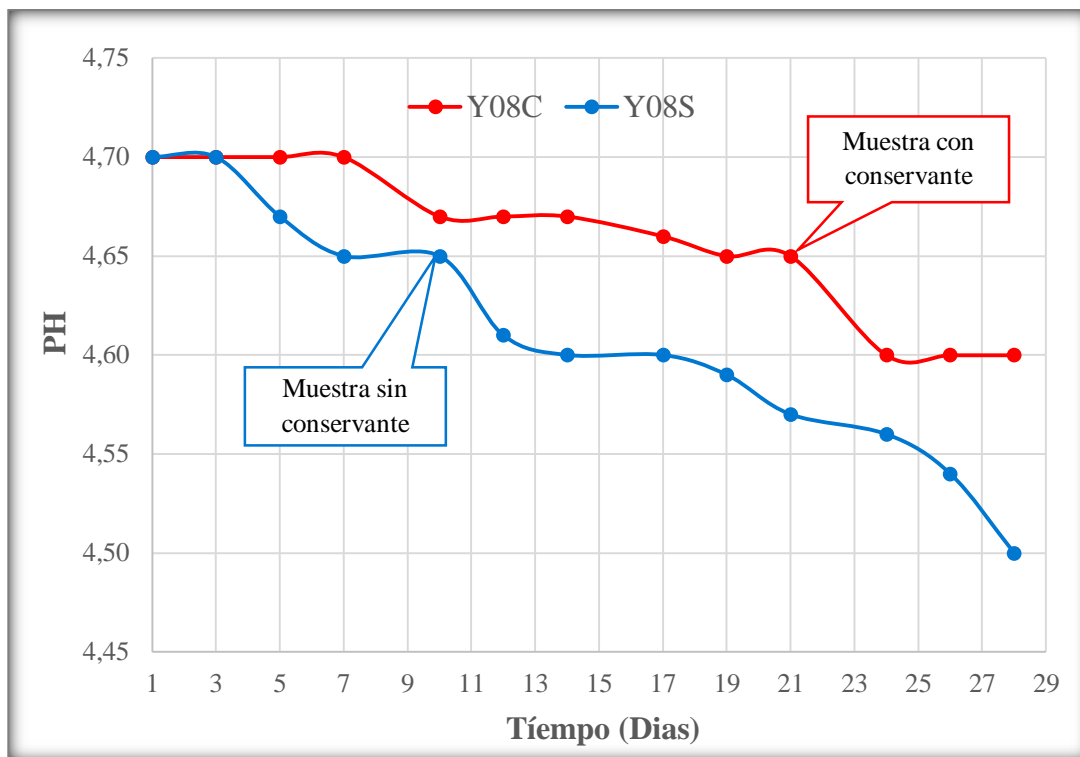
**Tabla 4.40**

*Control del pH durante la conservación de yogurt aflanado con almidón de achira*

Tiempo (días)	pH	
	Y08S	Y08C
1	4,70	4,70
3	4,70	4,70
5	4,67	4,70
7	4,65	4,70
10	4,65	4,67
12	4,61	4,67
14	4,60	4,67
17	4,60	4,66
19	4,59	4,65
21	4,57	4,65
24	4,56	4,60
26	4,54	4,60
28	4,50	4,60

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.16, se muestra la variación del pH durante 28 días de almacenamiento de la muestra con conservante (Y08C) y la muestra sin conservante (Y08S) de yogurt aflanado con almidón de achira; en base a los resultados de la tabla 4.40.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.16** Variación del pH en función del tiempo de almacenamiento del yogurt aflanado con almidón de achira con conservante y sin conservante

En la figura 4.16, se observa la variación del pH durante el tiempo de almacenamiento de las muestras Y08C y Y08S; inicialmente al (1 día) ambas muestras presentan pH de (4,70); a los (17 días) se observa que el valor del pH disminuye para Y08S(4,60) y a los (19 días) para Y08C(4,65); finalmente a los (28 días) el valor de pH disminuye para la muestra Y08S(4,50) y para la muestra Y08C(4,60).

De acuerdo al seguimiento de la variación del pH durante el almacenamiento de la muestra sin conservante (Y08S) y la muestra con conservante (Y08C); el pH a (1 día) ambas muestras presentan (4,70); pero a medida que transcurre (28 días) disminuye el pH, para la muestra Y08S(4,50) y para Y08C(4,60); evidenciando que la muestra (Y08C) con conservante tiende a mantener su pH más estable en función al tiempo de almacenamiento.



#### 4.10.3 Control de los sólidos solubles durante el tiempo de almacenamiento del producto final yogurt aflanado con almidón de achira

En la tabla 4.41, se muestran los valores del control de sólidos solubles (°Brix); técnica detallada en el Anexo F.4 extraído del (Anexo F); durante el almacenamiento de dos muestras de yogurt aflanado con almidón de achira (Y08S) sin conservante y con conservante (Y08C).

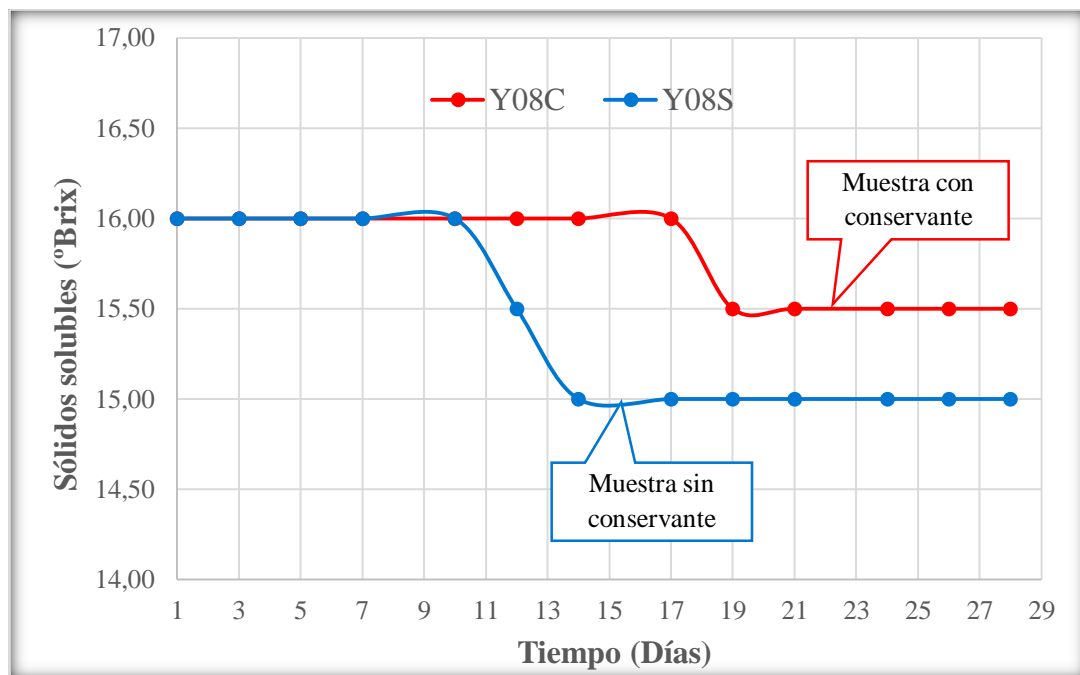
**Tabla 4.41**

*Control de sólidos solubles durante el almacenamiento de yogurt aflanado con almidón de achira*

Tiempo (días)	Sólidos solubles (°Brix)	
	Y08S	Y08C
1	16,0	16,0
3	16,0	16,0
5	16,0	16,0
7	16,0	16,0
10	16,0	16,0
12	15,5	16,0
14	15,0	16,0
17	15,0	16,0
19	15,0	15,5
21	15,0	15,5
24	15,0	15,5
26	15,0	15,5
28	15,0	15,5

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.17, se muestra la variación de los sólidos solubles de yogurt aflanado con almidón de achira durante 28 días para la muestra (Y08C) con conservante y muestra (Y08S) sin conservante.



**Fuente:** Elaboración propia

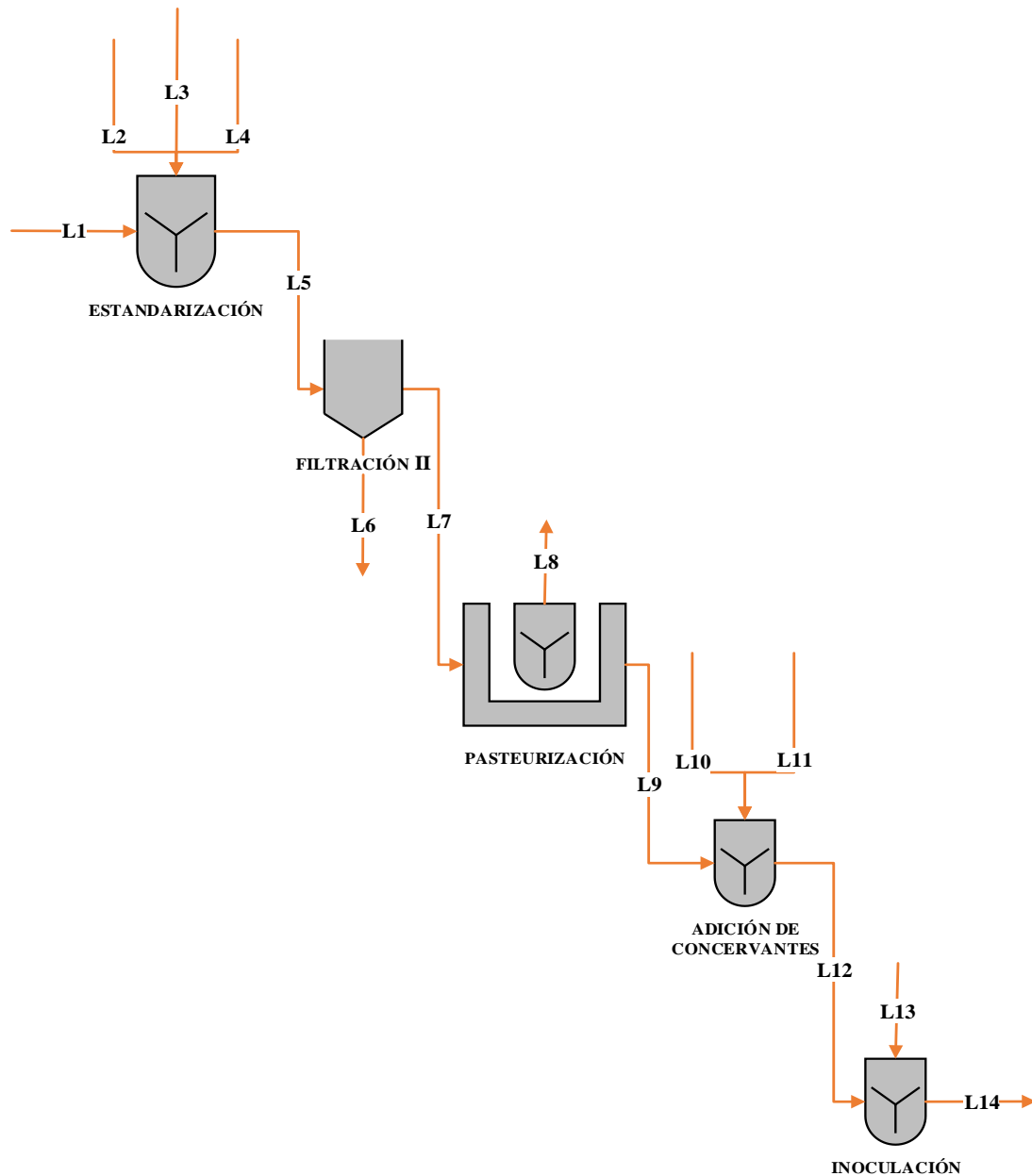
**Figura 4.17** Variación de sólidos solubles en función del tiempo de almacenamiento del yogurt aplanado con almidón de achira sin conservante y con conservante

En la figura 4.17, se observa la variación de sólidos solubles (°Brix) durante el tiempo de almacenamiento de las muestras Y08S y Y08C; inicialmente al (1 día) ambas muestras presentan (16°Brix); a los (12 días) se observa que el valor de sólidos solubles disminuye para Y08S(15,5°Brix) y a los (19 días) para Y08C(15,5°Brix); finalmente a los (28 días) el valor de sólidos solubles disminuyen para la muestra Y08S(15,0°Brix) y para la muestra Y08C(15,5°Brix).

De acuerdo al seguimiento del control de la variación de sólidos solubles durante el almacenamiento de la muestra sin conservante (Y08S) y muestra con conservante (Y08C); los sólidos solubles a (1 día) ambas muestras presentan (16°Brix); pero a medida que transcurre (28 días) de almacenamiento disminuyen los sólidos solubles; evidenciando que la muestra (Y08C) con conservante tiende a mantener sus sólidos solubles más estables en función al tiempo de almacenamiento.

#### 4.11 Balance de materia en el proceso de elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira

En la figura 4.18, se muestra el diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de elaboración del yogurt aflanado con almidón de achira; para el procesamiento de 1 litro de leche entera.



**Fuente:** Elaboración propia

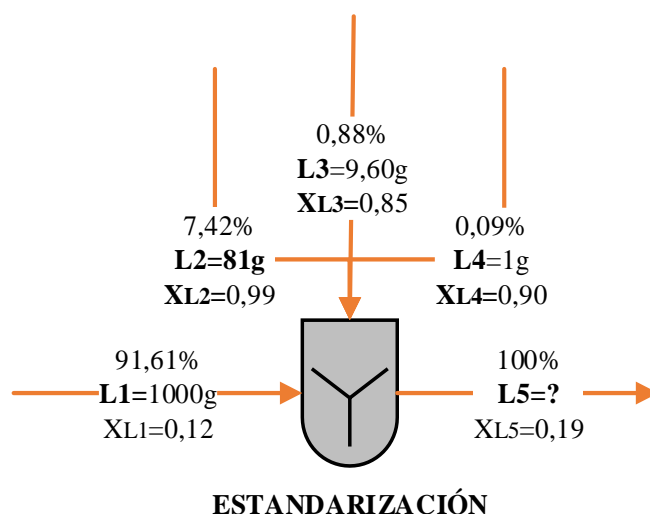
**Figura 4.18** Diagrama de flujo del proceso de elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira

**Donde:**

L1=Leche entera (g)	L13= Cultivo lácteo (g)
L2= Azúcar (g)	L14= Leche inoculada (g)
L3= Almidón de achira (g)	XL1= Fracción de sólidos solubles de la leche entera
L4= Gelatina neutra (g)	XL2= Fracción de sólidos solubles del azúcar
L5 = Leche estandarizada (g)	XL3= Fracción de sólidos solubles del almidón de achira
L6 = Partículas sólidas (g)	XL4= Fracción de sólidos solubles de la gelatina neutra
L7 = Leche estandarizada filtrada (g)	XL5= Fracción de sólidos solubles de la leche estandarizada
L8 = Agua evaporada (g)	
L9= Leche pasteurizada (g)	
L10= Sorbato de potasio (g)	
L11= Benzoato de sodio (g)	
L12= Leche con conservantes (g)	

**4.11.1 Balance de materia en la etapa de estandarización**

En la figura 4.19, se muestra el balance de materia en la etapa de estandarización de la mezcla de insumos en 1000 g de leche entera.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.19** Balance de materia en la etapa de estandarización

**Balance general de materia en la etapa de estandarización**

$$L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = L_5 \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

### Balance parcial de sólidos solubles en la etapa de estandarización

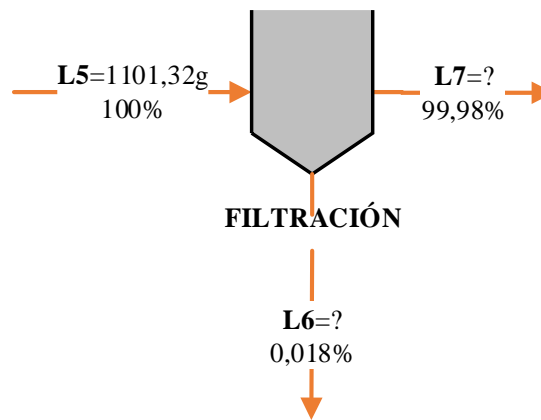
$$L_1 \times X_{L1} + L_2 \times X_{L2} + L_3 \times X_{L3} + L_4 \times X_{L4} = L_5 \times X_{L5} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

$$\text{Por lo tanto: } L_5 = \frac{1000g \times 0,12 + 81g \times 0,99 + 9,60g \times 0,85 + 1g \times 0,88}{0,19}$$

$$L_5 = 1101,32g \text{ de leche estandarizada}$$

#### 4.11.2 Balance de materia en la etapa de filtración

En la figura 4.20, se muestra el balance de materia en la etapa de filtración de 1101,32g de leche estandarizada.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.20** Balance de materia en la etapa de filtración de la leche estandarizada

### Balance general de materia en la etapa de filtración de la leche estandarizada

$$L_5 = L_6 + L_7 \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Utilizando porcentaje de partículas sólidas:

$$L_6 = L_5 \times (0,00018\%)$$

$$L_6 = 1101,32g \times (0,00018\%) = 0,20g \text{ de partículas sólidas}$$

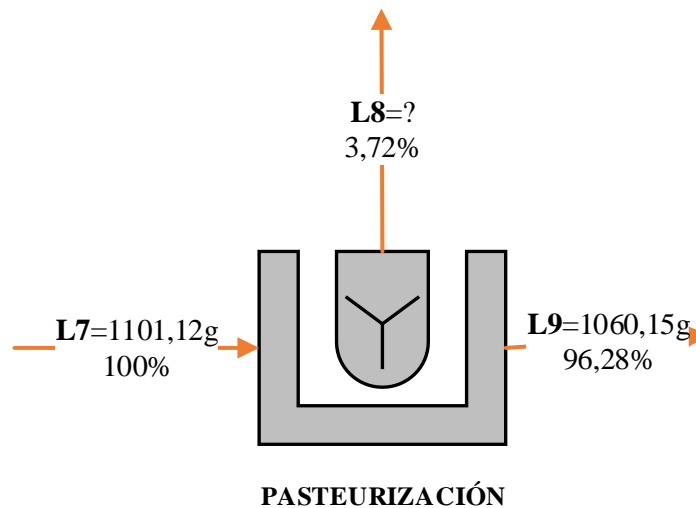
Despejando L7 de la ecuación 4.3:

$$L_7 = L_5 - L_6 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

$$L_7 = 1101,32\text{g} - 0,20\text{g} = 1101,12\text{g de leche filtrada}$$

#### 4.11.3 Balance de materia en la etapa de pasteurización

En la figura 4.21, se muestra el balance de materia en la etapa de pasteurización de 1101,12g de leche filtrada.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.21** Balance de materia en la etapa de pasteurización de la leche filtrada

#### Balance general de materia en la etapa de pasteurización de la leche filtrada

$$L_7 = L_8 + L_9 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

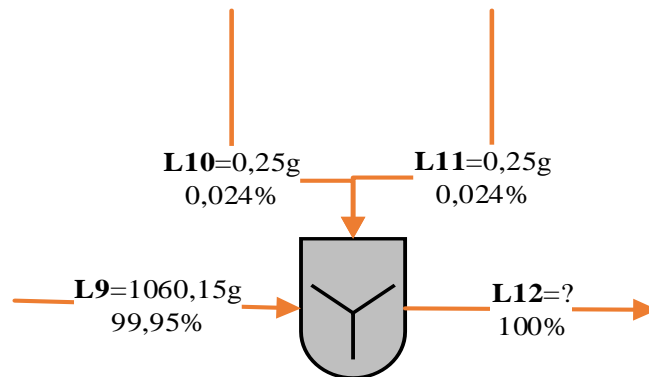
Despejando  $L_8$  de la ecuación 4.5:

$$L_8 = L_7 - L_9 \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

$$L_8 = 1101,14\text{g} - 1060,15\text{g} = 40,99\text{g de vapor de agua}$$

#### 4.11.4 Balance de materia en la etapa adición de conservantes

En la figura 4.22, se muestra el balance de materia en la etapa de adición de conservantes en 1060,15g de leche pasteurizada.



#### ADICIÓN DE CONSERVANTES

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.22** Balance de materia en la etapa de adición de conservantes en la leche pasteurizada

#### Balance general de materia en la etapa de adición de conservantes en la leche pasteurizada

$$L_9 + L_{10} + L_{11} = L_{12} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

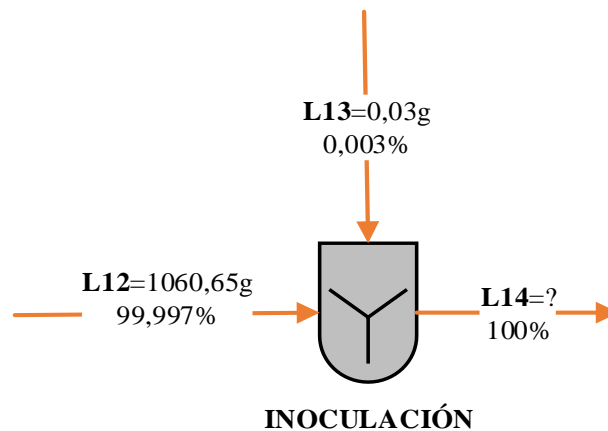
Despejando  $L_{12}$  de la ecuación 4.7:

$$L_{12} = L_9 + L_{10} + L_{11} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

$$L_{12} = 1060,15\text{g} + 0,25\text{g} + 0,25\text{g} = 1060,65\text{g de leche pasteurizada con conservante}$$

#### 4.11.5 Balance de materia en la etapa de inoculación de la leche pasteurizada

En la figura 4.23, se muestra el balance de materia en la etapa de inoculación de 1060,65g la leche pasteurizada con conservantes.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.23** Balance de materia en la etapa de inoculación de la leche pasteurizada

#### **Balance general de materia en la etapa de inoculación de la leche pasteurizada**

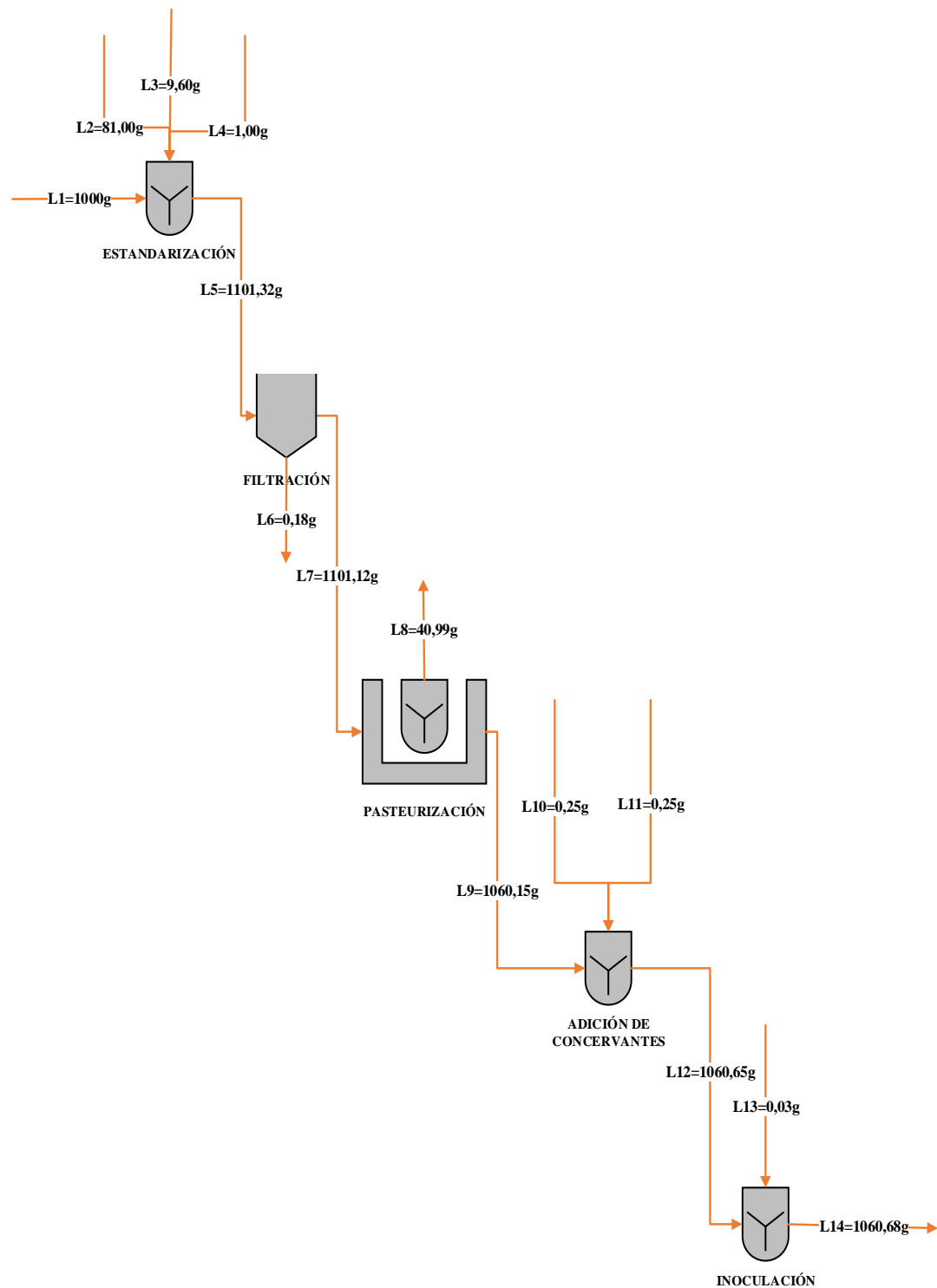
$$L_{12} + L_{13} = L_{14} \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

$$L_{14} = 1060,65\text{g} + 0,03\text{g} = 1060,68\text{g de leche inoculada}$$

#### **4.11.6 Resumen general del balance de materia en el proceso de elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira**

En la figura 4.24, se muestra el resumen general del balance de materia en el proceso de elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira.





**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.24** Resumen general del balance de materia en el proceso de elaboración de yogurt afianado con almidón de achira

#### 4.11.7 Cálculo del rendimiento del proceso de yogurt afluado con almidón de achira

Para el cálculo del rendimiento en el proceso de elaboración de yogurt afluado con almidón de achira, se tomó en cuenta la ecuación 4.10 citado por (Albares, 2013).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa obtenida}}{\text{Flujo masico de entrada}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

Reemplazando la ecuación 4.10:

$$\text{Rendimiento} = \frac{L14}{L5} \times 100 \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1060,68g}{1101,32g} \times 100 \quad \text{Rendimiento} = 96,31 \%$$

Según los resultados del balance de materia del proceso de elaboración de yogurt afluado con almidón de achira se obtuvo un rendimiento de 96,31% en base a la cantidad de materia prima (leche entera) recepcionada más los insumos añadidos.

#### 4.12 Balance de energía en el proceso de elaboración de yogurt afluado con almidón de achira

Para realizar el balance de energía en el proceso de elaboración del yogurt afluado con almidón de achira, se tomó en cuenta la etapa del calentamiento del agua para la etapa de pasteurización de la leche estandarizada.

##### 4.12.1 Ecuaciones para el balance de energía en el proceso de pasteurización

Para realizar el balance de energía, se tomó en cuenta las siguientes definiciones y ecuaciones:

- Según (Engel & Reid, 2007) la ecuación 4.13 demuestra el principio de conservación de la energía:

$$Q \text{ cedido} = Q \text{ ganado} \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

$$-Q \text{ perdido} = Q \text{ ganado} \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

Cuando interactúan varias sustancias:

$$-\Sigma Q \text{ perdido} = \Sigma Q \text{ ganado} \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

La suma algebraica de intercambio de calor en el sistema es igual a cero:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0 \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

La forma general del equilibrio de los calores será:

$$\Sigma Q_{\text{ganado}} + \Sigma Q_{\text{perdido}} = 0 \quad (\text{Ecuación 4.16})$$

En base a las ecuaciones 4.1 y 4.2 se determina la ecuación 4.3:

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{Ganado}} + Q_{\text{Cedido}} \quad (\text{Ecuación 4.17})$$

- Según (Reklaitis & Schneider, 1986) se toma en cuenta el cambio de entalpía a partir de la ecuación de conservación para un sistema cerrado donde:

$$\Delta H = Q = W \quad (\text{Ecuación 4.18})$$

El trabajo desempeñado por el sistema, al expandirse de  $V_1$  a  $V_2$  en contra de una presión constante  $P_1$  será:

$$W = P_1 \times (V_2 - V_1) \times m \quad (\text{Ecuación 4.19})$$

Por lo tanto:

$$m \times \Delta U = Q - P_1 \times (V_2 - V_1) \times m \quad (\text{Ecuación 4.20})$$

Que corresponde a:

$$Q = ((U_2 - U_1) + P_1(V_2 - V_1) \times m) \quad (\text{Ecuación 4.21})$$

$$Q = ((U_2 - P_2 \times V_2) - (U_1 - P_1 \times V_1)) \times m \quad (\text{Ecuación 4.22})$$

Usando la definición de la función de entalpía,  $H = U + PV$ , la ecuación se reduce:

$$Q = (H_2 - H_1) \times m \quad (\text{Ecuación 4.23})$$

Por lo tanto, la entalpía en estado  $T_2, P_1, V_2$ , Puede calcularse utilizando:

$$H_2 = H_1 + \frac{Q}{m} \quad (\text{Ecuación 4.24})$$

$$\Delta H = \frac{Q}{m} \quad (\text{Ecuación 4.25})$$

$$\Delta H \times m = Q \quad (\text{Ecuación 4.26})$$

- Según (Reklaitis & Schneider, 1986) la capacidad calorífica representa el cálculo para las diferencias en entalpía y energía interna, sin cambio de fase, para un sistema cerrado de un componente puro en una fase dada y estado (T, P) con cambio de estado (T + dT, P + dP); el cambio de diferencia de la entalpía dH estará dado por la ecuación 4.6:

$$dH = \left(\frac{dH}{dT}\right)_P dT + \left(\frac{dH}{dP}\right)_T dP \quad (\text{Ecuación 4.27})$$

Si el cambio de estado ocurre a presión constante, entonces dP=0 y la ecuación anterior se reduce a:

$$Q = dH = \left(\frac{dH}{dT}\right)_P dT \quad (\text{Ecuación 4.28})$$

Como resultado del cambio mayor de temperatura, de T1 a T2 a presión constante:

$$Q = \Delta H = H_2 - H_1 = \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{dH}{dT}\right)_P dT \quad (\text{Ecuación 4.29})$$

Debido a su utilidad para el cálculo del calor Q, a la cantidad  $(dH/dT)_P$  se le llama la capacidad calorífica a presión constante, representado generalmente como Cp se tiene a partir de la ecuación 4.27 que:

$$Q = C_p \times dT \quad (\text{Ecuación 4.30})$$

- Según (Valiente, 1994) como la energía no se crea ni se destruye, el calor perdido por una sustancia es igual al calor ganado por otra, por lo tanto, sustituyendo la ecuación 4.26 en la ecuación 4.13:

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{ganado}} \\ (\Delta H \times m)_{\text{perdido}} = (\Delta H \times m)_{\text{ganado}} \quad (\text{Ecuación 4.31})$$

Para los calores sensibles donde el cuerpo no cambia su estado físico mientras sube su temperatura, la constante de proporcionalidad es la capacidad calorífica; considerando la ecuación 4.30 y ecuación 4.31 se tiene la ecuación 4.33:

$$Q_s = \Delta H \times m \quad (\text{Ecuación 4.32})$$

$$Q_s = m \times C_p \times (t_1 - t_2) \quad (\text{Ecuación 4.33})$$

Para los calores latentes, una sustancia recibe o cede calor latente cuando cambia de estado físico y permanece la temperatura constante:

$$Q_l = \Delta H \times m \quad (\text{Ecuación 4.34})$$

$$Q_l = m \times \lambda \quad (\text{Ecuación 4.35})$$

Según (Choi & Okos, 1983) la ecuación matemática empírica para determinar la Cp de un alimento en función de la composición es la siguiente:

$$C_p = X_W \times C_{pW} + X_P \times C_{pP} + X_F \times C_{pF} + X_C \times C_{pC} + X_A \times C_{pA} \quad (\text{Ecuación 4.36})$$

**Donde:**

$X_W$ = Fracción de peso del agua

$C_{pW}$ = Capacidad calorífica del agua =  $4,18 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  (Choi & Okos, 1983)

$X_P$ = Fracción de peso de proteína

$C_{pP}$ = Capacidad calorífica de proteína =  $1,71 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  (Choi & Okos, 1983)

$X_F$ = Fracción de peso de grasa

$C_{pF}$ = Capacidad calorífica de grasa =  $1,93 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  (Choi & Okos, 1983)

$X_C$ = Fracción de peso de carbohidratos

$C_{pC}$ = Capacidad calorífica de carbohidratos =  $1,55 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  (Choi & Okos, 1983)

$X_A$ = Fracción de peso de ceniza

$C_{pA}$ = Capacidad calorífica de cenizas =  $0,91 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  (Choi & Okos, 1983)

$Q_T$ = Calor total (kcal)

$Q_g$ = Calor ganado (kcal)

$Q_c$ = Calor cedido (kcal)

$m$ = masa de la sustancia (g)

$m_v$ = Agua evaporada (g)

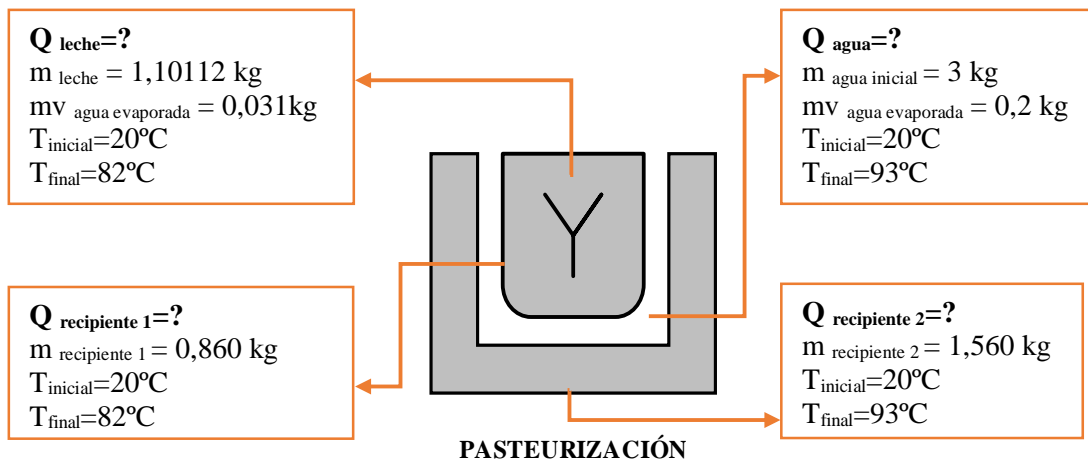
$\lambda$  = calor latente de cambio de estado (kcal)

$C_p$ = capacidad calorífica a presión constante (kcal/kg°C)

$\Delta T$ = diferencia de temperatura ( $T_{Final} - T_{Inicial}$ ) (°C)

#### 4.12.1.1 Balance de energía en la etapa de pasteurización de la leche estandarizada

En la figura 4.25, se muestra la etapa de pasteurización de la leche estandarizada para la elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.25** Balance de energía en la etapa de pasteurización de la leche estandarizada

#### • Energía total para la etapa de pasteurización de la leche estandarizada

De acuerdo a la ecuación 4.14 tenemos que:

$$Q_T = Q_{\text{recipiente 2}} + Q_{\text{Agua}} + Q_{\text{recipiente 1}} + Q_{\text{Leche}} \quad (\text{Ecuación 4.37})$$

Donde:

$Q_T$ = Calor total (kcal)

$Q_{leche}$ = Calor de la leche estandarizada (Kcal)

$Q_{recipiente 1}$ = Calor del recipiente que contiene la leche estandarizada (Kcal)

$Q_{agua}$ = Calor del agua para el baño María (Kcal)

$Q_{recipiente 2}$ = Calor del recipiente que contiene el agua para el baño María (Kcal)

- **Energía requerida para calentar el recipiente que contiene el agua para el baño María**

Donde:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{recipiente 2}} &= 1,560 \text{ kg} \\
 C_p_{\text{recipiente 2}} &= 0,110 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}, \text{ (Coronel \& col., 2016) para olla de acero inoxidable} \\
 &\quad \text{tipo AISI 304.} \\
 T_{\text{inicial}} &= 20^\circ\text{C} \\
 T_{\text{final}} &= 93^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 4.33 para calores sensibles se tiene:

$$Q_{\text{recipiente 2}} = m_{\text{recipiente 2}} \times C_p_{\text{recipiente 2}} \times (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) \quad (\text{Ecuación 4.38})$$

$$Q_{\text{recipiente 2}} = 1,560 \text{ kg} \times 0,110 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (93 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{recipiente 2}} = \mathbf{12,53 \text{ kcal}}$$

- **Energía requerida para calentar el agua para el baño María**

Donde:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{agua inicial}} &= 3 \text{ kg} \\
 C_p_{\text{agua}} &= 1,00 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}, \text{ (Coronel \& col., 2016) para agua líquida.} \\
 \lambda_{\text{agua vapor}} &= 543,3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}, \text{ (Catedra de integración III, 2018).} \\
 m_v_{\text{agua vaor}} &= 0,2 \text{ kg} \\
 T_{\text{inicial}} &= 20^\circ\text{C} \\
 T_{\text{final}} &= 93^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 4.33 y ecuación 4.35 para calores latentes se tiene:

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \times C_p_{\text{agua}} \times (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}) + m_{\text{agua evaporada}} \times \lambda_{\text{agua vapor}} \quad (\text{Ecuación 4.39})$$

$$Q_{\text{agua}} = 3 \text{ kg} \times 1,00 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (93 - 20)^\circ\text{C} + (0,2 \text{ kg} \times 543,3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}})$$

$$Q_{\text{agua}} = \mathbf{327,66 \text{ kcal}}$$

- **Energía requerida para calentar el recipiente que contiene la leche estandarizada**

Donde:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{recipiente 1}} &= 0,860 \text{ kg} \\
 C_p_{\text{recipiente 1}} &= 0,110 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}, \text{ (Coronel \& col., 2016) para olla de acero} \\
 &\quad \text{inoxidable tipo AISI 304.} \\
 T_{\text{inicial}} &= 20^\circ\text{C} \\
 T_{\text{final}} &= 82^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 4.33 para calores sensibles se tiene:

$$Q_{\text{recipiente 1}} = m_{\text{recipiente 1}} \times C_p_{\text{recipiente 1}} \times (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) \quad (\text{Ecuación 4.40})$$

$$Q_{\text{recipiente 1}} = 0,860 \text{ kg} \times 0,110 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (82 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{recipiente 1}} = \mathbf{5,87 \text{ kcal}}$$

- **Energía necesaria para calentar la leche estandarizada**

Donde:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{leche}} &= 1,0914 \text{ kg} \\
 C_p_{\text{leche}} &= ? \\
 \lambda_{\text{agua vapor}} &= 543,3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}, \text{ (Catedra de integración III, 2018).} \\
 m_{\text{v agua vapor}} &= 0,031 \text{ kg} \\
 T_{\text{inicial}} &= 20^\circ\text{C} \\
 T_{\text{final}} &= 82^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 4.36, se determinó el calor específico de la leche estandarizada en función de su composición:

$$C_p = X_W \times C_{pW} + X_P \times C_{pP} + X_F \times C_{pF} + X_C \times C_{pC} + X_A \times C_{pA} \quad (\text{Ecuación 4.41})$$

$$C_p = (0,8811 \times 4,180 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}) + (0,0303 \times 1,711 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}) + (0,0360 \times 1,928 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}) +$$

$$(0,0664 \times 1,547 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}) + (0,0062 \times 0,908 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}})$$

$$C_p = (3,68 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}) + (0,0518 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}) + (0,0694 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}) + (0,1027 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}) + (0,0056 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}})$$

$$C_p = 3,9095 \frac{\text{Kjoule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} = \mathbf{0,93 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}}$$



De acuerdo a la ecuación 4.33 y ecuación 4.35 para calores latentes se tiene:

$$Q_{\text{leche}} = m_{\text{leche}} \times C_p_{\text{leche}} \times (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}) + m_{\text{v}}_{\text{agua vapor}} \times \lambda_{\text{agua vapor}} \quad (\text{Ecuación 4.42})$$

$$Q_{\text{leche}} = 1,10112 \text{ kg} \times 0,930 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (82 - 20)^\circ\text{C} + (0,031 \text{ kg} \times 543,3 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}})$$

$$Q_{\text{leche}} = 80,33 \text{ kcal}$$

- **Calor total necesario para realizar la pasteurización de la leche estandarizada**

Realizando la sumatoria de los calores de la ecuación 4.37 se obtiene el calor total para realizar la pasteurización de la leche estandarizada:

$$Q_T = Q_{\text{recipiente 2}} + Q_{\text{Agua}} + Q_{\text{recipiente 1}} + Q_{\text{Leche}}$$

$$Q_T = 12,53 \text{ kcal} + 327,66 \text{ kcal} + 5,87 \text{ kcal} + 80,33 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 426,39 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor necesaria para la pasteurización de 1,10112 kg leche estandarizada de una temperatura inicial de 20°C a 82°C durante 10 minutos es de 426,39 kcal.

#### 4.12.2 Cálculo de la energía eléctrica utilizada en la etapa de fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira

Para realizar la fermentación de yogurt aflanado con almidón de achira se utilizó un termostato eléctrico con una potencia de 270 W dato extraído de las características técnicas propias del equipo.

La ecuación 4.43, para el cálculo de la energía eléctrica necesaria para realizar la fermentación por tiempo de 4 horas y 30 minutos, se encuentra citada por (Valiente, 1994):

$$Q = P \times \Theta \quad (\text{Ecuación 4.43})$$

**Donde:**

$$Q = \text{Energía gastada} = ?$$

$$P = \text{Potencia eléctrica} = 270\text{W} = 270\text{J/s}$$

$$\Theta = \text{Tiempo de consumo} = 16200\text{s}$$

Reemplazando datos en ecuación 4.41 se tiene:

$$Q = 270 \frac{\text{J}}{\text{s}} \times 16200 \text{ s}$$

$$Q = 4374000 \text{ J} = 1045,16 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía necesaria para realizar la fermentación de 1,101kg de leche estandarizada es de 1045 Kcal.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

- En base al análisis fisicoquímico; la leche entera tiene una acidez de 0,14% (ácido láctico), cenizas 0,62%, densidad relativa (20°C) 1,03, materia grasa 3,60%, hidratos de carbono 4,64%, humedad 88,11%, pH (20°C) 6,80, proteína total (Nx6,38) 3,03%, sólidos totales 11,89%, valor energético 63,08 Kcal/100g, calcio 1176,00 mg/100g, fósforo 270,00 mg/100g y magnesio total 100,00 mg/100g. De acuerdo al análisis microbiológico; la leche entera presenta Coliformes fecales ( $6,5 \times 10^2$  UFC/ml), Escherichia Coli ( $1,5 \times 10^2$  UFC/ml) y Salmonella (0 P/A/25 ml); encontrándose entre los rangos establecidos por la norma NB 33013.
- En base al análisis fisicoquímico; el almidón de achira tiene un porcentaje de cenizas de 0,19%, fibra (n.d.) %, grasa 0,55 %, hidratos de carbono 84,22%, humedad 14,61%, proteína total (Nx6,25) 0,43%, valor energético 343,55 Kcal/100g, fósforo 35,6 mg/100g y potasio total 2 mg/100g.
- De acuerdo a la evaluación de la prueba 1 con leche en polvo; la muestra Y02 fue la muestra más aceptada por los jueces; y de acuerdo a evaluación de la prueba 2 sin leche en polvo; la muestra Y08 fue la muestra más aceptada por los jueces. En base a las muestras de la prueba 1 y prueba 2 evaluadas para la elección de la muestra ideal; la muestra Y08 fue la muestra más aceptada por los jueces donde se evidenció que el añadido de leche en polvo influye y modifica los atributos del yogurt aflanado con almidón de achira; considerando la preferencia de los jueces por la muestra Y08 sin leche en polvo con el 62% de aceptación.
- En base al diseño factorial  $2^3$  en la etapa de fermentación del yogurt aflanado con almidón de achira para la variable respuesta acidez y pH; el factor (C) porcentaje de cultivo lácteo, es altamente significativo para  $p < 0,01$ . En tal sentido se tomó en cuenta la muestra Y08 (muestra ideal) de la respuesta estadística del análisis sensorial debido a la relación directa con el factor porcentaje de cultivo láctico dosificado.
- De acuerdo a la variación de acidez, pH y sólidos solubles durante la etapa de fermentación; al transcurrir el tiempo de 4,5 horas de fermentación, el porcentaje de acidez incrementó más para muestra del diseño experimental (YD7) 0,58% que la muestra ideal

(Y08)0,56%; evidenciando que el factor porcentaje de cultivo lácteo influye con el tiempo de fermentación de las dos muestras.

- Según la prueba de elección de muestra referencia; la muestra P04 (sabor coco) de la empresa PIL TARIJA, fue más aceptada por los jueces.
- De acuerdo a la curva de variación de la viscosidad versus temperatura; la viscosidad a (4°C) de la muestra ideal Y08 es (2910cP), muestra experimental YD7(2300cP) y muestra referencia P04(3600cP); evidenciando que la temperatura incide en el cambio de viscosidad del producto, donde la muestra ideal (Y08) presenta una viscosidad y consistencia cercana a la muestra referencia (P04).
- Según la preferencia de los jueces en la prueba comparativa de la muestra ideal y muestra experimental con muestra referencia; la muestra Y08 tiene mayor aceptación por los jueces con el 67%.
- En base al análisis fisicoquímico; el yogurt aflanado con almidón de achira tiene acidez 0,71 % (ácido láctico), cenizas 0,63%, densidad relativa 1,06 (20°C), materia grasa 4,48%, hidratos de carbono 14,92%, humedad 76,90%, pH 4,33 (20°C), proteína total 3,07 (Nx,38) %, solidos totales 23,10%, sólidos solubles 17,30 °Brix; valor energético 112,28 Kcal/100g, calcio 122,00 mg/100g, fósforo 71,70 mg/100g y magnesio total 9,00 mg/100g. De acuerdo a los análisis microbiológicos del yogurt aflanado con almidón de achira no se observó desarrollo de colonias.
- De acuerdo a la variación de la acidez, pH y solidos solubles durante el almacenamiento de la muestra sin conservante Y08S y muestra con conservante Y08C; ambas presentan al día 1 acidez de (0,57%) y pH (4,70); a los 28 días se evidenció que la muestra (Y08C) con conservante tiende a mantener sus propiedades más estables en función al tiempo de almacenamiento.
- De acuerdo al balance de materia del proceso de elaboración de yogurt aflanado con almidón de achira; para (1000 g) de leche entera más insumos añadidos, se obtuvo 1060,68 g de yogurt aflanado con un rendimiento del proceso del 96,31%. De acuerdo al balance de energía en la etapa de pasteurización; la cantidad de calor necesaria es de 426,39 kcal.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda a las autoridades de la casa superior de estudios Juan Misael Saracho gestionar equipos, instrumentos y materiales de laboratorio necesario para análisis de propiedades físicas de alimentos, con el propósito de que próximos estudiantes tesistas puedan realizar de manera oportuna los análisis de control de calidad con precisión en los resultados.
- Se sugiere la selección y capacitación de panelistas para los análisis sensoriales de próximos trabajos de grado; con el propósito de realizar de manera oportuna las evaluaciones y lograr mejores resultados.
- Se recomienda realizar nuevas investigaciones sobre el uso de almidones nativos como estabilizantes de yogurt; con el propósito de valorizar y darle valor agregado a los productos de nuestra región.